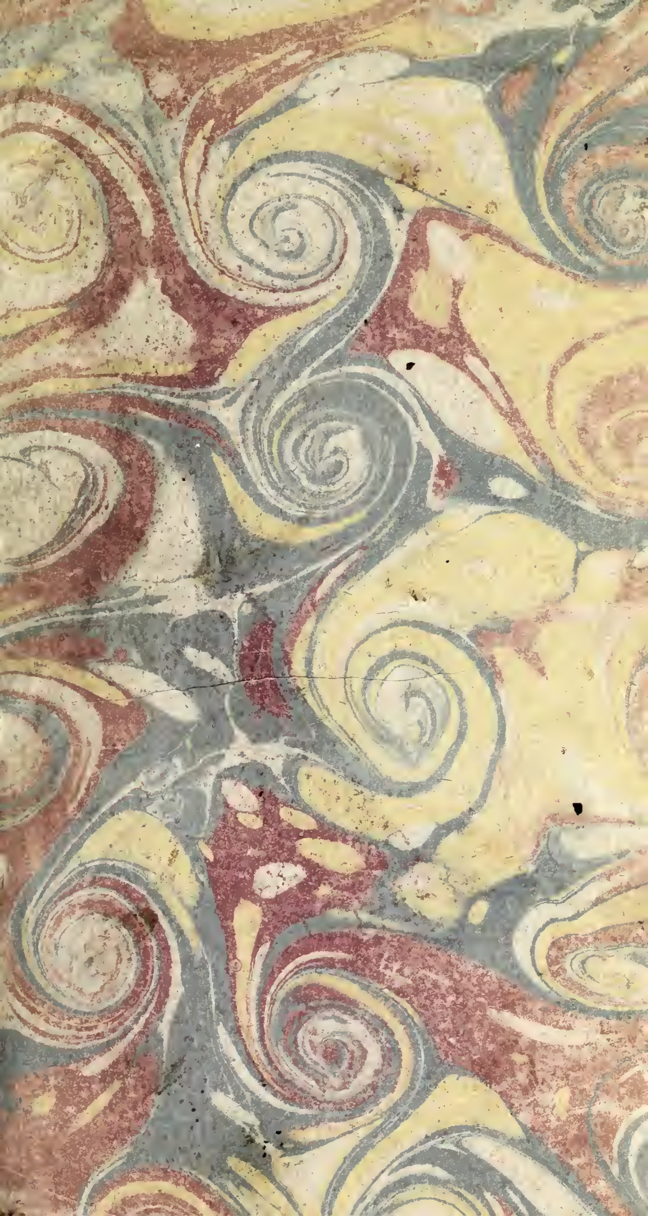

BIBL. COLL.
S. F. XAVERII
VENETENSIS.
N°
N°



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, Maître de Physique des Enfans de France, Professeur Royal de Physique Expérimentale au College de Navarre, & à la nouvelle Ecole d'Artillerie de la Fere.

TOME TROISIEME.

SIXIEME EDITION.





A PARIS,

Chez HIPPOLYTE-LOUIS GUERIN, & LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LXIV.

Avec Approbation & Privilege du Roi.

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniere qu'en s'ouvrant elles puiſſent ſortir entiérement du livre, & ſe voir à droite, dans l'ordre qui ſuit.

TOME TROISIEME.

	page	*planche*
IX. LEÇON.	24	1
	42	2
	68	3
	86	4
	98	5
	106	6
	124	7
	136	8
	170	9
X. LEÇON.	192	1
	216	2
	234	3
	254	4
	288	5
	336	6
XI. LEÇON.	414	1
	440	2
	472	3
	504	4

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

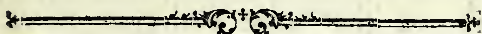
Du 6 Mars 1745.

MOnsieur DE REAUMUR & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troisième Volume des Leçons de Physique Expérimentale* de M. l'Abbé Nollet, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression : en foi de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris ce 6 Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.



IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.



APRÈS avoir enseigné, dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps solides, que pour les fluides, il nous reste à parler dans celle-ci des moyens par lesquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens sont les *Machines*, c'est-à-dire, certains corps ou assemblages d'une construction plus ou moins simple, qui

IX. LEÇON.

IX. LEÇON. transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Méchanique* ; elle suppose, dans celui qui s'y applique, des connoissances suffisantes de Mathématiques & de Physique : car un Méchanicien doit non-seulement estimer & mesurer des forces opposées entr'elles, relativement à leurs positions respectives & à leurs directions, mais il faut encore qu'il sache distinguer quelle est la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la quantité des matieres qu'on emploie, par la circonstance du lieu, du temps, &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique, pourroit faire des machines durables & bien assorties, quant à l'assemblage des pieces & à leur maniere de se mouvoir ; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions, & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques, & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire uſage, trouveroit ſans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne ſeroit ni Géometre, ni Phyſicien, travailleroit abſolument en aveugle, & ne pourroit ſe flatter de réuſſir que par un pur hazard; ſouvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & preſque toujours diſpendieuſes. C'eſt une vérité que l'expérience prouve depuis long-temps, & qui devroit corriger bien des gens dont le travail eſt infructueux; mais de même que l'amour-propre, & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages, malgré la critique; les mêmes motifs, & ſouvent l'appas du gain, font faire auſſi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, ſi ceux qui les imaginent en ſavoient aſſez pour en bien juger.

Les mauvaiſes machines naiſſent plus fréquemment que les bonnes; & c'eſt ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'eſprit de pluſieurs perſonnes qui confondent injuſtement le Machiniſte avec le vrai Méchanicien: on revient aiſément de

IX. LEÇON.

cette idée, quand on fait attention que des Savants du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimede, &c. parmi les anciens ; MM. Mariotte, Amontons, de la Hire, Varignon, &c. parmi les modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre ſont autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſements que celles de toute autre eſpece : l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même ? & la ſociété n'en retire-t-elle pas des avantages conſidérables ? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouiſſons actuellement : les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les différentes pompes qui élevent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes ; les poulies, les grues, les cabeſtans

dont l'application eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places, ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances? On doit aſſurément ſavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſants de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes que la ſolution des grands problêmes ; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont, pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

On diſtingue communément deux ſortes de machines ; celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées* : les premieres ſont comme les éléments des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

cette Leçon ; car la multiplication & l'aſſemblage des machines ſimples dans un même tout, n'apporte aucun changement eſſentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines compoſées qui ont été miſes au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui ſont ſimples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui ſont le plus en uſage, dont la conſtruction pourra s'entendre plus facilement, & qui n'auront pas beſoin de ces deſcriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines ſimples varie ſelon la maniere d'eſtimer leur ſimplicité ; les uns regardant comme ſimple ce que d'autres conſiderent comme étant déjà compoſé, c'eſt une choſe aſſez arbitraire & peu importante : pour moi ſans déſapprouver les opinions qui different de la mienne à cet égard, je ne compte que trois ſortes de machines ſimples ; ſavoir, le *Levier*, le *Plan incliné*, & les *Cordes*. Mais avant que d'entrer

en matiere, il eſt à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir, & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications.

Dans une machine, il y a quatre choſes principales à conſidérer; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vîteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque, ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviere, le poids d'un tournebroche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on emploie dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail; car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un temps fort court une force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme

IX. LEÇON.

ſoutienne pendant quelques inſtants un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de ſuite, on ne doit pas compter ſur un effort qui excede 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval ; encore faut-il qu'ils agiſſent avec liberté, & qu'ils ne ſoient pas gênés, ſoit par la diſpoſition de la machine à laquelle on les applique, ſoit par la ſituation du terrein, ou autrement.

Si la puiſſance eſt un poids ou un reſſort, il peut arriver qu'elle ne ſoit pas d'une valeur conſtante : car, 1° à meſure qu'un reſſort ſe déploie, ſon effort diminue ; & ſi la machine n'eſt point faite d'une maniere qui ſupplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être auſſi grands à la fin qu'au commencement. 2° Nous avons fait voir, en parlant de la peſanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'eſt-à-dire, avec une vîteſſe très-ſenſible ; ainſi dans tous les cas où le mouvement eſt imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la machine en reçoit d'autant plus que

le moteur descend de plus haut.

La *résistance* est une autre force ou la somme de plusieurs obstacles qui s'opposent au mouvement de la machine que la puissance anime ou fait mouvoir ; tel est un bloc de pierre ou de marbre qui résiste par son poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treuil, d'un cabestan, d'une grue, &c.

La résistance n'est pas toujours une quantité constante comme un poids qu'on veut enlever ; souvent ce sont des ressorts à tendre, des corps à diviser, des fluides à soutenir ; & en pareil cas, la puissance a plus ou moins à faire au commencement de son action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon que la résistance, étant la plus grande qu'elle puisse être, se trouve encore inférieure à la force motrice. Ainsi lorsqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe, on doit considérer le tuyau montant comme étant toujours plein, quoiqu'il ne le soit véritablement

IX. LEÇON. qu'après un certain nombre de coups de piſtons, pendant leſquels la force motrice eſt plus que ſuffiſante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine autour de laquelle les autres ſe meuvent ; c'eſt dans une balance, l'endroit de la chaſſe ſur lequel repoſe l'axe du fléau ; c'eſt dans une roue de caroſſe, l'extrêmité du rayon qui touche actuellement le terrein, lorſqu'elle roule : c'eſt la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, &c.

Le centre du mouvement n'eſt pas toujours un ſeul point fixe ; dans bien des occaſions, c'eſt une ſuite de points qui forment une ligne ; tel eſt l'axe d'une ſphere, telles ſont les charnieres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui, bien ſouvent, n'eſt fixe que relativement à la révolution dont il eſt le centre : il peut être mobile d'ailleurs ; tel eſt, par exemple, l'eſſieu d'une charrette qui eſt emporté dans une direction parallele au terrein, pendant qu'il eſt le centre du mouvement des roues ; quelquefois même c'eſt l'action d'un

corps animé qui sert d'appui, comme lorsque deux hommes portent ensemble quelque fardeau sur un bâton dont ils soutiennent chacun un bout; l'un des deux, indifféremment, peut être regardé ou comme puissance, ou comme point d'appui.

Les vîtesses se mesurent par les espaces que parcourent la puissance & la résistance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la disposition de la machine, si l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabestan, décrit, en marchant, la circonférence d'un cercle; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité: ce sont ces espaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vîtesses respectives; car le temps est égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux bassins d'une balance sont en repos par cause d'équilibre, on connoît leurs vîtesses, par le chemin qu'ils feroient en même-temps, l'un en montant, l'autre en descendant, si le mouvement avoit lieu.

La pesanteur est une force qui

IX. LEÇON.

s'emploie souvent en méchanique comme puissance ou comme résistance : quoiqu'elle appartienne également à toutes les parties de matiere renfermées sous un même volume ; pour plus de simplicité, nous la considérerons comme résidente en un seul point que nous nommerons, *Centre de gravité.*

Ce centre de gravité ou de pesanteur, n'est pas toujours celui de la figure ; c'est un point par lequel un corps étant suspendu, toutes ses autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles se meuvent toutes lorsqu'il cesse d'être appuyé. De là il est aisé de comprendre que ce point ne se trouve justement au milieu que dans les corps dont les parties sont homogenes, & la figure symmétrisée. Dans une boule bien ronde, par exemple, & d'une densité bien uniforme, il est évident que tous les rayons, ou demi-diametres, sont égaux & de même poids ; égaux, à cause de la figure parfaitement sphérique ; de même poids, à cause de l'homogénéité des parties : tout est donc en équilibre autour d'un point qui est en même-temps

temps centre de gravité & de figure. Il n'en eſt pas de même d'une fleche dont le bout eſt ferré, ou d'une plume à écrire ; ſi l'on partage ſa longueur en deux parties égales, l'une ſe trouvera plus peſante que l'autre, & la ſection n'aura point paſſé par le centre de ſa peſanteur, quoiqu'elle ſe ſoit faite à celui de ſa figure.

De la même maniere que l'on conçoit toute la peſanteur d'un corps réunie dans un ſeul point, on conſidere pareillement, dans un eſpace infiniment petit, celle de pluſieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand pluſieurs maſſes peſent ſur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des peſanteurs particulieres. *A*, *B*, *Figure* 1, étant donc les centres de gravité des deux corps ſuſpendus, leurs actions ſe réuniſſent en *C* ou dans tout autre point que l'on voudra choiſir de la ligne *Cd*, pourvu que le poids *A* ſoit égal au poids *B* ; car ſi l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus peſante s'appro-

IX. LEÇON.

cheroit davantage de la ligne *c D*; & la ligne *a b* ſeroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue ſeroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puiſſe être le nombre de ces corps peſants, ſi l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où ſe réuniſſent leurs forces, parce que les diſtances ſont connues ; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du levier.

La peſanteur a une intenſité différente lorſque les corps ſont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent ; mais dans la ſuite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'eſt jamais ſenſible dans l'étendue que peut avoir une machine ; ainſi nous ſuppoſerons qu'un poids dont la chûte n'eſt point accélérée, exerce toujours la même force ou la même preſſion dans toute ſa direction. Un ſeau plein d'eau qui peſe 100 livres ſur la poulie du puits, lorſqu'il eſt en haut, eſt donc cenſé peſer autant

lorſqu'il eſt 50 ou 60 pieds plus bas, (abſtraction faite du poids de la corde;) & celui qui ſonne une cloche fait toujours le même effort, ſoit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

Nous regarderons auſſi comme paralleles les directions de deux poids diſtants l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles ſoient un peu inclinées entr'elles, puiſque tous les corps graves tendent à un même point qui eſt le centre de la terre; mais nous en ſommes trop éloignés pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaiſon.

Pour écarter tout ce qui eſt en quelque façon étranger à notre objet préſent, dans toute cette Leçon nous ferons abſtraction des frottements & de la réſiſtance des milieux; obſtacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorſqu'on les néglige, ou qu'on manque à les eſtimer ſelon leur valeur, cauſent des erreurs conſidérables dans les calculs que l'on fait ſur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troiſieme Leçon, en

expliquant la premiere loi du mouvement.

PREMIERE SECTION.

Du Levier.

UN levier considéré mathématiquement n'est autre chose qu'une ligne droite sans pesanteur, qui regle les distances & les positions de la puissance, de la résistance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient pesante & courbe, son poids doit être considéré comme faisant partie de la puissance ou de la résistance, & sa courbure peut toujours se réduire à la distance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainsi *E F G*, *Fig.* 2, équivaut à *e g*; & si les deux parties *E F*, *F G*, sont de fer, ou de quelque autre matiere sensiblement pesante, chacune fait partie de la masse *E* ou *G*, qu'elle soutient.

On distingue ordinairement trois genres de leviers par les différentes

poſitions que l'on peut donner à la puiſſance, à la réſiſtance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en ſuivant l'exemple de quelques Auteurs célebres *, regarder comme deux autres puiſſances ce que j'ai nommé réſiſtance & point d'appui ; & alors la diſtinction des leviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a ſemblé qu'il y avoit quelque avantage à ſuivre la méthode la plus uſitée dans une Leçon, qui eſt moins un traité de méchanique, qu'un ſimple expoſé des principes de cette ſcience. Pour repréſenter donc ces trois ſortes de leviers, je déſignerai la puiſſance ou force motrice par une main *A*, la réſiſtance par un poids *B*, & le point d'appui par un pivot *C*. *

* *Traité de Méchanique de Monſieur de la Hire.*

* *Fig.* 3, 4, 5 & 6.

Les leviers du premier genre ſont ceux où le point d'appui eſt entre la puiſſance & la réſiſtance. *Fig.* 3.

Ceux du ſecond genre ont la réſiſtance entre le point d'appui & la puiſſance. *Fig.* 4.

Dans ceux du troiſieme genre, la puiſſance eſt placée entre le point d'appui & la réſiſtance. *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

Les eſpeces de chaque genre ſe diſtinguent par la diſtance qu'il y a de la puiſſance au point d'appui, relativement & par comparaiſon à celle qui eſt entre ce même point & la réſiſtance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C*, étoit en *c*, *Fig.* 3, ce ſeroit toujours un levier du premier genre, mais l'eſpece ſeroit différente ; ainſi pour s'exprimer exactement ſur quelque levier que ce puiſſe être, on dira : » il eſt de tel ou tel genre, » & les diſtances des forces réſiſtantes » & motrices au point d'appui, ſont » entr'elles dans le rapport de 2 à 3, » ou à 4, ou à 5, &c. «

La diſtance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conſéquent leurs vîteſſes ; car, puiſque l'une ne peut ſe mouvoir ſans l'autre, il eſt évident que la puiſſance *A*, *Fig.* 6, n'emploiera pas plus de temps à parcourir l'arc *A a*, que la réſiſtance en conſumera pour achever le ſien *B b*.

Quand les temps ſont égaux, les vîteſſes doivent ſe comparer par les eſpaces parcourus ou à parcourir ; comme nous l'avons enſeigné *, en par-

* Tom. I. page 193 & ſ.

lant des propriétés du mouvement. Ainsi comme les arcs *A a*, & *B b*, suivent entr'eux le rapport de leurs rayons *A C*, & *B C*, il est certain qu'en connoissant ces deux dernieres distances, on sait la vîtesse de la puissance & celle de la résistance. D'où il suit:

1° Qu'un poids agissant comme puissance ou comme résistance, par un levier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il est plus éloigné du point d'appui.

2° Que deux masses égales opposées l'une à l'autre sur un semblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles sont à égales distances du point d'appui, & qu'elles agissent en sens contraires.

3° Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs distances au point d'appui sont réciproquement comme les masses.

Ces trois propositions deviendront sensibles par des expériences.

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

Préparation.

La *Figure* 7 repréſente une planche élevée verticalement ſur une baſe & percée à jour par une rainure *HI*; la piece *K* eſt une eſpece de chaſſe qui peut ſe placer à différents endroits de la rainure par le moyen d'une queue à vis qui traverſe celle-ci, & qui s'arrête par derriere avec un écrou. *L M*, eſt une petite boîte de métal qui ſe meut ſur deux pivots dans la chaſſe, & dans laquelle on fait gliſſer le levier *N O*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on ſouhaite de ſa longueur : par ce moyen le point fixe change de place, non-ſeulement ſur la planche, mais même ſur le levier ; les extrêmités de ce levier ſont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en-deſſous pour en recevoir d'autres. *P* eſt une maſſe qui eſt enfilée par le levier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'eſt pas placé au milieu de ſa longueur. *Q* eſt

eſt une poulie très-mobile ſur ſon axe, dont la mouffle ſe place en fourchette, & à telle diſtance que l'on veut ſur le haut de la planche; cette poulie eſt embraſſée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour ſoutenir le levier, dans les cas où le point fixe ſe trouve placé à l'une des deux extrêmités.

Avec cette machine ainſi préparée, on peut mettre en expérience les leviers de tout genre & de toutes eſpeces, varier la puiſſance & la réſiſtance, non-ſeulement quant à leurs diſtances au point d'appui, mais encore quant à leurs maſſes, ou quantités abſolues; & par le moyen du contrepoids *P*, le levier peut toujours reſſembler à une ligne mathématique, inflexible & ſans poids.

Ces moyens étant donc ſuppoſés, nous nous abſtiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous repréſenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui eſt étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il ſera queſtion.

IX. LEÇON.

Ayant donc diſpoſé le levier de maniere que ſon point fixe ſe trouve entre deux poids, comme il eſt repréſenté par la *Fig.* 8, on remarquera ce qui ſuit.

EFFETS.

1° Si le point fixe eſt en *a*, c'eſt-à-dire, qu'il partage le levier en deux bras égaux, une puiſſance d'une livre ſoutient une réſiſtance de même poids.

2° Si le point fixe eſt en *b*, le bras de la puiſſance eſt deux fois auſſi long que celui de la réſiſtance ; une livre en *P* ſoutient deux livres en *R*.

3° Si le point fixe eſt en *c*, il y a trois fois auſſi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r* ; la même livre employée en *P* en ſoutient trois placées en *R*.

II. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut diſpoſer la machine que nous avons décrite *, de maniere que le point fixe ſe trouve à l'une des deux extrêmités du levier, & que l'anneau dans lequel paſſe le levier,

* Fig. 7.

ſoutenu par la puiſſance *P*, puiſſe ſe placer d'abord au point 2, & enſuite au point 1. Voyez la *Fig.* 9.

EFFETS.

Dans le premier cas, *R* peſant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids eſt 1 livre $\frac{1}{2}$.

Dans le ſecond cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'eſt-à-dire, que la maſſe *P* qui n'eſt éloignée du point d'appui que d'un eſpace, doit peſer 3 livres, pendant que l'autre *R* qui eſt à la troiſieme diſtance, n'en peſe qu'une.

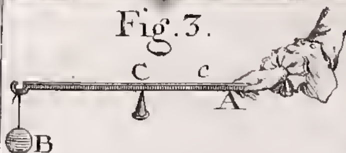
Ce levier qui eſt du troiſieme genre, repréſente auſſi celui du ſecond, ſi l'on conſidere comme réſiſtance ce que nous avons regardé comme puiſſance.

EXPLICATIONS.

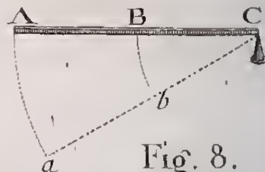
Les principes que j'ai établis d'abord, laiſſent peu de choſes à dire pour expliquer les faits qui ſont rapportés dans ces deux premieres expériences. L'action ou la force d'un corps ſe meſure par la quantité de

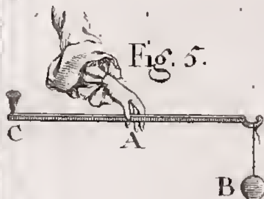
IX. LEÇON.
mouvement qu'il a, ou qu'il auroit, s'il n'étoit pas retenu ; or la quantité du mouvement résulte de la masse multipliée par la vîtesse. Sur un même levier la puissance & la résistance ne peuvent se mouvoir qu'en même temps ; leurs vîtesses, c'est-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient si le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les espaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, sur un levier horizontal, partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vu dans le premier résultat de la premiere expérience, c'est que ce levier ne peut se mouvoir sans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même-temps, ou (ce qui est la même chose) sans qu'ils aient la même vîtesse ; égalité de vîtesses, & égalité de masses de part & d'autre, produisent des efforts égaux, qui se détruisent réciproquement, parce qu'ils se font en sens contraires ce que l'on appelle *équilibre*.

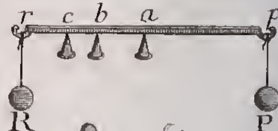
Dans le second résultat on voit une livre qui en soutient deux, parce qu'elle est tellement placée qu'elle

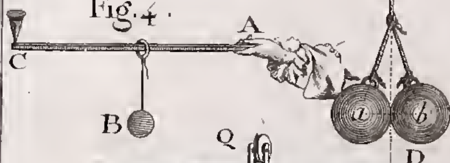

Fig. 3.
C
c
A
B

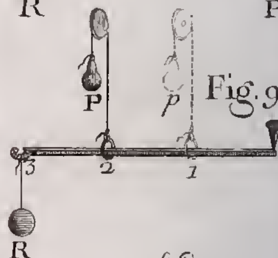

d
A
B
Fig. 1.

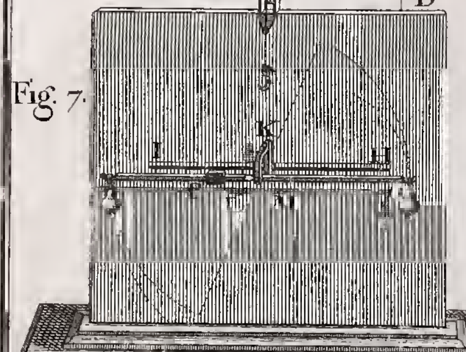

Fig. 6.
A
B
C
b
a

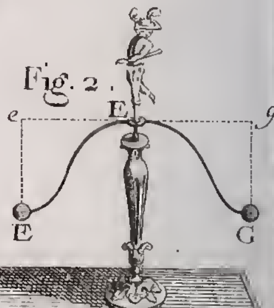

Fig. 5.
C
A
B


Fig. 8.
r
c
b
a
p
R
P


Fig. 4.
A
C
B


P
p
Fig. 9.
3
2
1
R


Q
D
Fig. 7.


Fig. 2.
e
E
g
F
G

auroit deux fois plus de vîteſſe que le poids oppoſé ; 1 de maſſe multiplié par 2 de vîteſſe, équivaut à 1 de vîteſſe multiplié par 2 de maſſe. Il eſt facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puiſqu'une puiſſance appliquée à un levier croît toujours à meſure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pu voir par les expériences précédentes, on doit en tirer cette conſéquence, qu'une très-petite force, par le moyen d'un levier aſſez long, peut faire équilibre, ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimede avoit donc raiſon de dire qu'il enleveroit la terre entiere, s'il avoit un point fixe qui en fût ſéparé : car en établiſſant ſur cet appui un levier dont le bras, du côté de la puiſſance, ſurpaſſât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terreſtre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte ſur la force d'un homme, il eſt évident par les principes établis ci-deſſus, qu'il eût acquitté ſa promeſſe, par une démonſtration ſans

IX. LEÇON.

doute ; car il eſt inutile de dire que le levier dont il faudroit faire uſage dans une telle opération, ne peut jamais paſſer que pour un être de raiſon, comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les leviers ſont d'un uſage ſi commun, non-ſeulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchaniſme de la nature, qu'on les rencontre preſque par-tout, pour peu qu'on y faſſe attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & ſuperflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de groſſes pieces de bois, ſe ſervent très-ſouvent d'une barre de fer arrondie dans preſque toute ſa longueur, un peu coudée, & applatie par un bout. Cet inſtrument, qu'ils appellent communément *pied de-chevre*, s'emploie principalement de deux manieres. Quelquefois après avoir engagé l'extrêmité applatie, qu'on nomme la *pince*,

entre la piece qu'on veut mouvoir, & le terrein ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10, ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*, on ſouleve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner la liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, &c. ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piece qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus, *Fig.* 11.

Le pied-de-chevre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un levier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'emploie, pour l'ordinaire, à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la résistance, est toujours fort loin du bout que l'on tient à la main ; ainsi la puissance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui que la résistance, a sur elle un avantage considérable par cette position.

Les rames des Bateliers sont des leviers du second genre, dont on appuie un bout contre l'eau, pendant que la puissance appliquée à l'autre bout porte son effort à l'endroit du bateau où la rame est attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre est mise en mouvement par les bras du Batelier : il seroit sans doute avantageux que l'une & l'autre fussent fort longues ; la premiere, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe ; la seconde, parce qu'elle mettroit une plus grande distance entre la puissance & le point d'appui : mais il y a aussi des raisons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre, selon les circonstances.

On ne peut alonger les rames du côté de la puiſſance ſans exiger d'elle un plus grand mouvement ; celui d'un homme eſt borné à une certaine étendue, au-delà de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manœuvre des forçats lorſqu'ils ſont quatre ou cinq appliqués à la même rame ; ceux qui ſont au bout, quoique les plus robuſtes, peuvent à peine réſiſter quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux, où un ſeul homme fait agir deux rames, cette même longueur eſt encore bornée par le peu de diſtance qu'il y a d'un bord à l'autre ; car le Batelier qui eſt aſſis au milieu de cet eſpace, eſt la puiſſance commune à l'une & à l'autre rame.

Les rames qui ſont fort alongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre ; on ne peut guere en faire uſage dans les petites rivieres, dans celles qui ont beaucoup de ſinuoſités, qui ſont remplies d'iſles & de rochers, ou même dans les ports qui ſont très-fréquentés, à cauſe des embarras qui s'y trouvent ; c'eſt par ces raiſons ſans doute que les ra-

IX. LEÇON.

mes varient & de formes & de dimenſions, ſuivant les circonſtances des lieux, & les différentes manieres de les employer.

Le couteau du Boulanger eſt encore un levier du ſecond genre, lorſqu'arrêté par un bout ſur une table, & tournant autour d'un point fixe, il eſt porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La baſcule eſt un levier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorſqu'on ſe repréſente une longue piece de bois, appuyée par ſon milieu, & chargée à ſes extrêmités de deux perſonnes, dont l'une eſt enlevée par l'autre, lorſqu'en touchant le terrein, du pied ou autrement, elle ſoulage d'une partie de ſon poids le bras du levier où elle eſt.

Les ciſeaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne ſont encore que des leviers aſſemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui menent les deux branches, doit être conſidéré comme la puiſſance; le clou, ou ce qui en tient lieu, eſt un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on ſerre, devient la réſiſtance,

Ceux de ces inſtruments qui ſont deſtinés à faire de grands efforts, comme les ciſailles des Chaudroniers, ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaiſon aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniere la puiſſance agiſſant par un bras de levier très-long, eſt capable de vaincre une réſiſtance fort grande. Par la raiſon du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire que de tranſporter quelques charbons, cette légere réſiſtance ſe fait aux extrêmités de deux longues branches, qui ſont des leviers du troiſieme genre; l'endroit où ils ſe joignent par une charniere ou par un reſſort foible, doit être regardé comme le point d'appui; & la main qui les fait agir, eſt la puiſſance. IX. LEÇON.

Les ciſeaux dont on ſe ſert pour découper ont les branches fort longues, & les lames très-courtes; ce n'eſt pourtant pas qu'on ait beſoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a ſouvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réſerver, il faut que l'on puiſſe arrêter à-propos les ciſeaux; & cela ſe peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux ſont encore des leviers ou des aſſemblages de leviers, par leſquels la force des muſcles eſt employée de la maniere la plus convenable & la plus avantageuſe, ſoit pour tranſporter le corps, ſoit pour approcher de lui tout ce qui lui eſt néceſſaire ou utile, ſoit pour en écarter tout ce qui lui ſeroit nuiſible. Un Auteur célebre * a fait connoître en détail, & dans un ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchaniſme; ceux qui ont du goût pour l'anatomie y trouveront de quoi le ſatisfaire.

* *Borelli, de motu animalium.*

Dans les deux premieres expériences, le levier étant ſoutenu horizontalement, nous avons employé pour puiſſance & pour réſiſtance des corps peſants dont les efforts ſe faiſoient dans des directions verticales, c'eſt-à-dire, qu'elles faiſoient des angles droits

avec la longueur du levier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du levier, soit par la nature des puissances qu'on emploie, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe, il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des leviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du levier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différents degrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au levier; dans ces différents cas, voici ce qu'il y a de plus important à savoir.

1° L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier, par l'extrêmité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12, ne suffiroit plus pour soutenir ce-

lui qui eſt en *A*, ſi au lieu de peſer dans la direction *b B*, il faiſoit ſon effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

2° Deux forces qui agiſſent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même levier, gardent entr'elles le même rapport, ſi leurs directions, de perpendiculaires qu'elles ſont, deviennent également obliques au levier; c'eſt-à-dire, que ſi les poids *P*, *R*, *Fig.* 13, ſont en équilibre, cet état ſubſiſtera entr'eux, ſi leurs directions s'inclinant au levier, demeurent paralleles l'une à l'autre comme *a p*, *b r*.

3° Si ces directions reçoivent différents degrés d'obliquité, de ſorte que l'une des deux faſſe avec le bras du levier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choſes égales d'ailleurs, rendra la puiſſance plus foible. Une force qui ne feroit donc que ſuffiſante pour ſoutenir la maſſe *Q*, en agiſſant ſelon la direction *P p*, *Fig.* 14, ne le feroit plus ſi elle ſortoit de cette ligne; & elle le feroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davantage en ſe plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propoſitions évidentes.

IX. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Figure* 15 repréſente une planche bien unie, & élevée verticalement ſur une baſe; en *F*, on a fixé une châſſe aſſez ſemblable à celle d'une balance, pour ſervir de ſoutien à un levier *G H*, qui s'y meut librement ſur deux pivots; *I K*, eſt une regle qui gliſſe dans une couliſſe, & qui porte en ſon extrêmité une poulie qui eſt très-mobile. On fait paſſer ſur cette poulie un cordon fort menu, qui tient d'une part à l'extrêmité *H* du levier, & qui eſt garni par l'autre bout d'un petit crochet qui ſert à ſuſpendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la regle mobile ſur laquelle elle eſt fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conſéquent celle de la puiſſance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

IX. LEÇON.

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier ; & ensuite en faisant passer le cordon sur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids, comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

EFFETS.

Lorsque la direction du cordon n'est plus perpendiculaire au levier, l'effort de la puissance *P*, ne suffit plus pour soutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne se rétablit point jusqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

EXPLICATIONS.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la résistance *E*, parce qu'il agit directement contr'elle ; car sa direction *a C*, étant parallele à *b E*, c'est comme si ces deux forces étoient toutes deux opposées dans la même ligne. Ce levier du premier genre, dont les bras sont égaux, ne fait rien autre chose que de mettre les deux forces en opposition : si l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en haut, on pourroit la placer en *a*, & l'équilibre

quilibre ſubſiſteroit de même entr'elles, pourvu que leurs directions reſ- IX. LEÇON.
taſſent directement contraires. Cette oppoſition directe eſt donc une condition abſolument néceſſaire : par conſéquent, lorſque l'une des deux forces a ſa direction perpendiculaire à l'un des bras du levier, toutes choſes égales d'ailleurs, il faut que l'autre, pour lui être égale, faſſe auſſi un angle droit avec l'autre bras; & ſi elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, ſon effort doit être moins grand. Suppoſons, par exemple, que la puiſſance agiſſe ſelon la ligne *a d*, il eſt évident que la réſiſtance *E*, ne ſeroit nullement ſoutenue : elle le ſera donc d'autant moins que la direction de la puiſſance ſera plus inclinée au bras du levier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même levier.

IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut mettre le levier *G H*, de la machine repréſentée par la *Fig.* 15,

IX. LEÇON. dans une position oblique comme *h i*, & suspendre aux extrmêités deux poids égaux.

EFFETS.

La direction de la puissance & de la résistance, étant celle qui est naturelle à tous les corps graves, est la même de part & d'autre ; elle forme avec le levier incliné, des angles semblables, *l i F*, *h F k* ; cette égalité d'angles subsiste, quelque degré d'inclinaison qu'on fasse prendre au levier, & les deux poids conservent toujours leur équilibre.

EXPLICATIONS.

Lorsque le levier étoit horizontal comme *G H* *, la distance perpendiculaire à la direction des puissances, étoit la même que la longueur des bras *E G*, *F H*, qui étoit égale de part & d'autre ; le levier s'étant incliné comme *h i*, cette distance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités *l H*, *k G* ; mais ces quantités sont égales entr'elles, par conséquent les restants *l F*, *k F*, conservent entr'eux le mê-

* Fig. 35.

me rapport qu'auparavant ; c'eſt pourquoi l'inclinaiſon du levier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids. IX. LEÇON.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Par le moyen de la machine * qui a ſervi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un levier horizontal ; enſuite on fait paſſer le cordon qui ſuſpend l'un des deux poids ſur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids ſucceſſivement les directions, *ad*, *af*, *Figure* 17.

* *Fig.* 17.

EFFETS.

Plus la direction de la puiſſance devient inclinée au levier, plus il faut ajouter à ſa maſſe pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'eſt-à-dire, que ſi elle étoit d'une livre lorſqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au levier, il en faut une & demie quand la direction eſt *ad*, & trois quand elle eſt *af*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *a P*, perpendiculaire au levier, comme nous l'avons prouvé par la troiſieme expérience, c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force, lorſqu'on l'emploie dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance, étant dans la poſition la plus avantageuſe, elle doit être inſuffiſante lorſqu'elle reçoit les directions obliques *a d*, *a f*; c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance, ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer, ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les différents degrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *a i*, *a k*. Imaginons enſuite que le bras du levier *a c*, tourne ſur ſon point d'appui, & qu'il

décrit une portion de cercle, *aghik*; il y aura un point dans sa longueur *m* ou *n*, sur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement : c'est donc sur ce point que la puissance exerce toute sa force ; mais ce point, comme l'on voit, n'est plus à l'extrêmité du bras du levier ; sa distance au point d'appui est beaucoup moindre ; en un mot, quand la direction de la puissance est oblique comme *a d*, c'est comme si elle étoit perpendiculaire au point *b* ; & lorsqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, si elle étoit suspendue au point *e* : or ces deux points *e*, *b* partagent ce bras du levier en trois parties égales, & puisque l'autre bras est de même longueur, il a trois parties semblables à celles-ci La masse *R* étant d'une livre multipliée par trois de distance au point d'appui, donne 3, qui est la valeur de la résistance ; si nous suspendons une autre masse en *b*, pour servir de puissance, il faut qu'elle soit d'une livre & demie, qui, multipliée par deux de distance, égalera le produit de l'autre part : & si nous la pla-

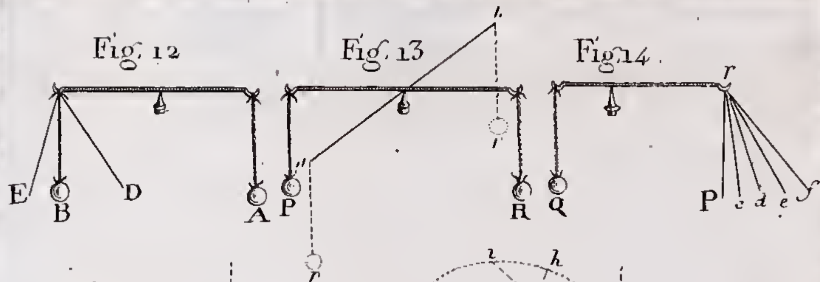
IX. LEÇON.

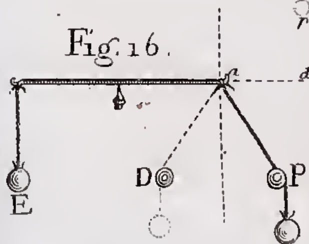
çons en *e*, la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

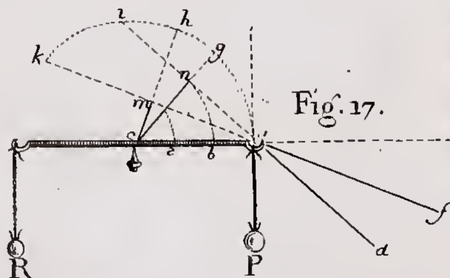
Ces masses 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 livres sont, comme l'on voit, en raison réciproque des distances *bc*, *ec*, que l'on met entr'elles & le point d'appui ; elles ont aussi le même rapport avec les lignes *cm*, & *cn*, qui sont doubles l'une de l'autre ; & comme celles-ci sont les sinus des angles *acm*, *acn*, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition : *les différents efforts d'une puissance appliquée à l'extrêmité d'un bras de levier, selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le levier.*

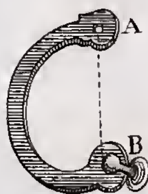
Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être quand la direction est perpendiculaire au levier, comme nous l'avons déjà prouvé * : car alors, elle fait un angle droit *Pac*, dont le sinus est *ac* ; c'est-à-dire, le rayon même, ou le bras entier du levier.

* *III. Exp. p.* 35.


Fig. 12
E
B
D
A
Fig. 13
P
R
Fig. 14
r
Q
P
c
d
e
f


Fig. 16.
d
E
D
P


Fig. 17.
i
h
k
g
n
m
b
R
P
d
f


Fig. 18
A
B

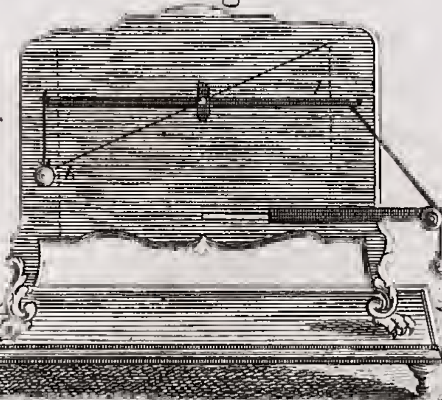
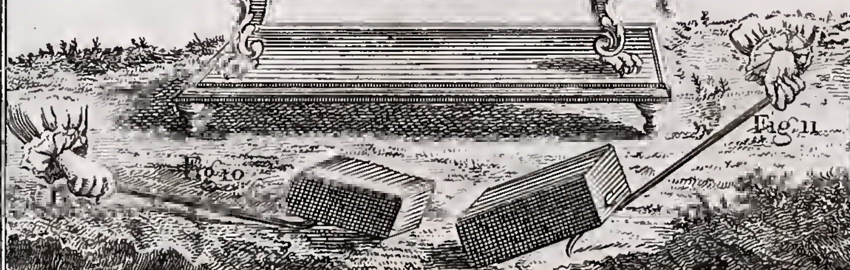

Fig. 15.
K


Fig. 19
A
F
B


Fig. 10
Fig. 11

APPLICATIONS.

Il y a quantité de machines & d'inſtruments qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de levier, qu'on nomme *manivelle*.

Quelque figure qu'on lui donne, ſoit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18, & la plûpart de celles des rouets qu'on fait tourner avec le pied, ſoit qu'on la façonne en *S*, *Fig.* 19, comme le ſont ordinairement celles des vielles, elle ſe réduit toujours à un bras de levier droit, dont la longueur eſt déterminée par la diſtance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la réſiſtance n'eſt pas bien conſidérable, il importe peu quel angle faſſe la direction de la puiſſance avec la ligne *A B*; mais lorſqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bientôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes manieres dont la puiſſance

IX. LEÇON.

se trouve dirigée au bras du levier pendant qu'il tourne : c'est ce que l'on concevra facilement si l'on imagine que la manivelle *C H*, *Fig.* 20, reçoit son mouvement circulaire d'une regle *D H*, qui lui est jointe, & qui la pousse & la tire alternativement; car selon ce que nous avons prouvé par la troisieme expérience, cette regle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorsqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *C H D*, ou *C i k*, soit en poussant, soit en tirant. Mais lorsque la manivelle est aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puissance, représentée par la regle, fait avec elle des angles de plus en plus aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous disons de la regle *D. H*, il le faudroit dire du bras d'un homme, appliqué à une manivelle, s'il ne faisoit que tirer & pousser dans la même direction; mais il fait plus, lorsque son effort s'affoiblit par une direction désavantageuse en poussant, il avance son corps, de sorte qu'une partie de son poids se porte dans

dans la direction *b f*; ou *e g*; lorsqu'il tire, il se baisse & se renverse un peu; & par ces différents moyens, il redresse, pour ainsi dire, la direction de la puissance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le seroit, sans ces mouvements du corps, qui se font sans attention, & par des ouvriers les plus grossiers, qui n'ont pris sur cela que les leçons de la Nature & de l'habitude. IX. Leçon.

Mais ces sortes de mouvements ne se font pas sans fatigue; il est toujours vrai de dire que celui qui tourne la manivelle, n'est en pleine force que dans certaines parties de la révolution : c'est peut-être pour cette raison que dans les machines qui se meuvent avec deux manivelles, on est dans l'usage d'opposer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *E F*, & *G H*, *Fig.* 21, afin que des deux hommes qui les menent, l'un se trouve dans une position favorable, pendant que l'autre travaille avec désavantage : mais cette disposition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puisse être : j'aimerois mieux que les deux manivelles fissent en-

ſemble un angle droit, que d'être

IX. LEÇON. oppoſées directement. Car ſi l'on partage la révolution entiere en quatre quarts, on peut voir par la *Figure* 20, qu'un homme qui éleve la manivelle d'*l* en *m* par l'action des muſcles, ou qui l'abaiſſe de *b* en *n* par l'effort de ſon poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l*: mais ces deux dernieres parties, comme les premieres, ſont directement oppoſées entr'elles; quand on oppoſe de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, ſe trouvent donc en même temps en pleine force, & en même temps auſſi dans les poſitions les moins favorables: la même choſe n'arriveroit pas, ſi les manivelles faiſoient entr'elles un angle droit, l'un des deux parcourroit l'arc *l m*, pendant que l'autre paſſeroit par l'eſpace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive ſouvent, qu'au lieu d'employer un levier droit, on diſpoſe les deux bras de maniere qu'ils font un angle au point d'appui, comme *I K L*, *Fig.* 22. Ces leviers angulai-

res, qu'on nomme aussi *manivelles coudées*, sont fort en usage pour les pompes, pour les mouvements des sonnettes qu'on place dans les appartements, pour la sonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occasions où l'action du moteur ne peut se transmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un levier droit; car lorsqu'en tournant, ces deux bras disposés en équerre se trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puissance & de la résistance, cette obliquité est égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, sont semblables; en un mot, les distances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires, *m o*, *i h*, sont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*.

Ce que nous avons nommé jusqu'ici le point d'appui, doit être considéré comme une troisieme puissance qui fait équilibre à la force motrice ou à la résistance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les leviers du premier genre, par exemple, le point d'appui soutient l'effort

IX. LEÇON.

des deux forces qui ſont oppoſées de part & d'autre ; dans ceux du ſecond & du troiſieme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui ; le plus ſouvent ce ſont des corps flexibles ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrêmités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids, ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excede leurs forces. Il eſt donc important de ſavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même levier, afin de le pouvoir mettre en porportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir : comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes des directions, il faut exa-

miner auſſi comment ſe dirige l'effort qu'il ſoutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puiſſance & à la réſiſtance. Nous avons fait voir précédemment que l'action d'une puiſſance quelconque, appliquée au bras d'un levier, réſulte de deux choſes : 1° De ſa maſſe, ou du poids auquel elle équivaut, ſi c'eſt un reſſort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la peſanteur : 2° De ſa diſtance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette diſtance. * L'effort qui vient de la maſſe & qu'on peut nommer *abſolu*, eſt limité ; une livre, ou l'action d'une puiſſance équivalente à une livre, lorſqu'elle peſe ſur le bras d'un levier, dans la direction la plus avantageuſe, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui eſt oppoſé avec les mêmes circonſtances. Mais l'effort qui vient de la diſtance au point d'appui peut croître à l'infini ; de ſorte que ſi l'un des deux bras étoit 100 fois auſſi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle ſera donc

IX. LEÇON.

* V. Expér. Fig. 17.

IX. LEÇON. la charge sur le point d'appui; premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de masse; secondement, si les masses ou les forces sont en équilibre par l'inégalité de leurs distances au point d'appui?

Pour répondre à la premiere question, je dis que si les directions de la puissance & de la résistance sont paralleles entr'elles, le point d'appui se trouve chargé de la somme des deux forces absolues, & son effort se fait dans une direction parallele à celles de la puissance & de la résistance.

Mais si les directions des deux forces opposées sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort absolu; il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au levier; & sa résistance tend au point de concours de ces deux directions: deux expériences serviront d'éclaircissements & de preuves.

VI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Au revers de la machine qui est re-

présentée par la *Figure* 15, on a fixé, à deux pouces de distance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23, qui sont très-mobiles sur leurs axes, & par le moyen desquelles on suspend horizontalement un levier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r*; on suspend ensuite au poids *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids, *P*, *R*, qui pesent chacun 2 onces.

EFFETS.

Tout étant ainsi disposé, le poids qui est en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre; si l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces descend par la ligne *C I*; il remonte au contraire par la ligne *C F*, si l'on ajoute également aux masses *P*, *R*.

VII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Cette expérience se prépare comme la précédente, excepté que le levier *I K*, *Fig.* 24, est plus court que *D E*, *Fig.* 23, & que le poids *L* n'est que de 3 onces.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Les deux directions *K N*, *I Q*, des deux puissances *P R*, étant obliques au levier, à quelque degré d'obliquité que ce soit, le poids *L* est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pesent chacun deux onces : si les directions *K N*, *I Q*, deviennent moins obliques au levier, comme *NO*, *QS*, il faut augmenter la masse *L* pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne *L M*.

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernieres expériences, on peut regarder le poids *P* comme la puissance, *R* comme la résistance, & la masse qui est suspendue au point *C*, ou *L*, comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids, le levier seroit emporté de bas en haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point *C*, quand les deux masses *P*, *R*, sont chacune

de deux onces, & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au levier, comme *A D*, *B E**; nous avons donc eu raison de dire, qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne *I F*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction, qui est, comme nous l'avons annoncé, parallele à celles de la puissance & de la résistance.

* Fig. 13.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui suffit pour arrêter le point *L* du levier contre les efforts qui se font en *I* & en *K*, n'est jamais de 4 onces, comme il faut qu'il le soit, quand les directions des puissances sont perpendiculaires au levier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entiere des deux masses *P*, *R*; & cela doit être ainsi, puisque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puissance est d'autant

IX. LEÇON.

diminuée, que sa direction est oblique au bras du levier par lequel elle agit : enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est là que se réunissent, par leurs tendances, les deux forces auxquelles il résiste.

Quant à la seconde question, savoir quel est l'effort qui se fait sur le point d'appui lorsque la puissance & la résistance se mettent en équilibre par des distances inégales entr'elles & le point d'appui, je réponds que cet effort n'est jamais plus grand que la somme des forces absolues ou des masses qui sont opposées ; c'est-à-dire, que si le poids d'une livre en soutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de levier qui est douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24 ; & son effort se dirige comme dans les cas précédents, parallelement aux directions des forces qu'il soutient, si ces directions sont paralleles entr'elles ; ou bien directement au point de leur concours, si elles sont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Sur une même base *AB*, *Fig.* 25, on a élevé deux piliers qui glissent dans deux mortaises, de maniere qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre; *C*, *C*, sont deux poulies, sur chacune desquelles passe un petit cordon pour soutenir une petite tringle d'acier *EE*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D*; la piece *FG*, est une verge de fer qui est un peu entaillée en-dessous aux $\frac{3}{4}$ de sa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, se met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On suspend d'abord en *F*, un poids de 6 onces; en *G*, un autre poids de 2 onces; & l'on ajoute aux petits contre-poids qui sont en *D*, *D*, deux masses de 4 onces chacune. Voyez la *Figure* 26, où l'on a représenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités seulement qui intéressent la théorie.

IX. LEÇON.

Effets.

Il y a équilibre par-tout : 1° Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au levier *fg*; 2° Entre ce levier qui est ainsi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui soutiennent le point d'appui *ee*, ou plutôt, qui représentent son effort ; & si l'on souleve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne *eK*.

IX. EXPÉRIENCE.

Préparation.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*, de la machine que nous avons décrite *, ensorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au levier, comme *ce*, *ce*, *Fig.* 27 ; ensuite la verge *fg*, ayant été avancée jusques aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *ee*, on met en *L* & en *M* des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

* Fig. 25.

Effets.

Alors le poids *L* se trouve être de

8 onces, & celui qui eſt en *M*, de 4 onces, ce qui fait en ſomme 12 onces de maſſe; & lorſqu'on diminue cette quantité, ou qu'on ſouleve ces deux poids, le point d'appui *H* deſcend en ſuivant la ligne *HI*, ce qui s'apperçoit facilement, ſi l'on place derriere un fil à plomb. La même choſe arrive, ſi l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du levier *fg* chargé de ſes deux poids.

Explications.

Dans la huitieme expérience, il y a équilibre entre une maſſe de 6 onces & une autre de 2 onces; parce que celle-ci, qui n'eſt que le tiers de l'autre, eſt trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vîteſſe d'une part, compenſe l'excès de la maſſe de l'autre part: mais quoiqu'une puiſſance augmente à meſure que le bras du levier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroiſſement charge aucunement le point d'appui, puiſque l'effort qui ſe fait en *g* *, quoiqu'équivalent au poids de

* Fig. 26.

6 onces qui peſe en *f*, ne produit
IX. LEÇON. point en *e* la ſomme de 12, mais ſeulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d d*, de 4 onces chacun, & égale aux deux maſſes qui ſont en équilibre aux bras du levier *f g*. La même choſe ſe prouve encore plus directement par la neuvieme expé-
* Fig. 27. rience, puiſqu'en ſubſtituant en *H* * un ſeul poids qui égale en maſſe celle du levier chargé, les mêmes effets ſubſiſtent.

* Fig. 26. Si rien ne ſoutenoit le levier, * que les deux puiſſances reſtaſſent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrêmités *f* & *g*, il eſt évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralleles à celles des puiſſances; & c'eſt ce que l'on voit arriver lorſqu'on ſouleve un peu les deux poids *d*, *d*: le point d'appui deſcend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc ſa tendance de bas en haut, ou la direction de ſon effort.

On peut dire auſſi que ſi ces puiſſances cédoient de part & d'autre à
* Fig. 27. l'effort qui ſe fait au point *H*, * pourvu qu'en cédant elles ne changeaſſent

point de rapport, les deux extrêmités du levier décriroient en descendant, les paralleles *e N*, *e O*, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne *HI*; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut savoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du levier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidents qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes si l'on ne savoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place, par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un levier dont les extrêmités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

IX. LEÇON.

ſoutenir 100 livres. Mais ſi l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit ſuffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne ſuccombera pas moins, tant que le fardeau ſera à égales diſtances entre ſon collegue & lui ; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du levier devenus inégaux, ſoient en raiſon réciproque des efforts dont les deux hommes ſont capables, & alors le fardeau ſera ſoutenu comme il auroit pu l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pu ſuffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un charpentier porte une ſolive, c'eſt toujours à-peu-près par le milieu de la longueur qu'il la poſe ſur ſon épaule : en la plaçant ainſi, il ne porte que le poids de la piece de bois, parce que les deux bouts qui paſſent de part & d'autre, ſe font équilibre réciproquement ; & le point d'appui n'eſt chargé que de la ſomme totale des deux maſſes. Mais s'il la poſoit aux deux tiers, ou aux trois quarts

quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court; & cet effort seroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du côté opposé: l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plupart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

IX. LEÇON.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau, ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde, se penche-t-il en avant ? C'est qu'il appuie l'action des muscles sur une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, si celui qu'il a ne l'est point assez, soit par sa nature, soit par une direction désavantageuse ; s'il marche sur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'est point arrêté ; s'il est sur un terrein glissant ou incliné ; toutes ces causes, qui se réduisent à un défaut d'appui, rendent ses efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvénients de cette espece, que l'on jette de la cendre ou du fumier sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas, & que dans les grands hivers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace*. Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige, marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des especes de raquettes, beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers ; par ce moyen ils s'appuient en marchant sur une plus grande partie du plan, ce qui supplée à son défaut de solidité.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenue par le terrein, c'est encore l'inclinaison de ce terrein qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort ; car leurs jambes, en se roidissant contre le terrein, s'inclinent dans le même sens que lui ; & l'on conçoit bien que plus elles approchent du parallélisme, moins les pieds sont appuyés : c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage ; sem-

blables à-peu-près aux marches de nos escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui se fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner doivent savoir combien il est nécessaire qu'un levier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance : car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouge, un burin, sinon un levier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c.? Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sait, beaucoup de mauvais effets; les matieres dures se tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui sont tendres

s'arrondiſſent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits; en un mot, c'eſt un défaut eſſentiel dans un tour, lorſque ce qui doit ſervir d'appui aux outils, manque ou de ſolidité ou des mouvements néceſſaires pour lui donner les directions les plus convenables; & celui qui ne ſait pas placer le ſupport avantageuſement, n'eſt point un habile tourneur.

DES MACHINES

Qui ſont compoſées de leviers, ou qui agiſſent comme des leviers.

Les leviers entrent dans la conſtruction d'un ſi grand nombre de machines, qu'il ne ſeroit pas poſſible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement des méchaniques, ſe ſont diſpenſés avec raiſon, de cet examen ſuperflu, & ſe ſont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer, par quelques exemples choiſis, l'application qu'on en fait dans les Arts: les bornes que nous nous ſommes preſcrites, exigent que nous en uſions avec encore plus de

IX. LEÇON.

réſerve ; c'eſt pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins compoſées, de celles qui s'éloignent ſi peu de la ſimplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines ſimples.

De la Balance commune, & de la Romaine.

La balance ordinaire, repréſentée par la *Figure* 28, eſt une machine qui ſert à mettre en équilibre deux quantités égales de matiere ; de ſorte que ſi l'on connoît le poids de l'une, on ſait, par ce moyen, combien peſe l'autre.

Cette machine eſt compoſée d'un *fléau A B*, dont la longueur eſt partagée en deux parties égales par un *axe* ; de deux *baſſins C, D*, ſuſpendus aux deux extrêmités des bras du fléau, & d'une *chaſſe E F*, qui ſert d'appui à l'axe où eſt le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'eſt autre choſe qu'un levier partagé en deux bras égaux par ſon appui, & chargé des efforts d'une

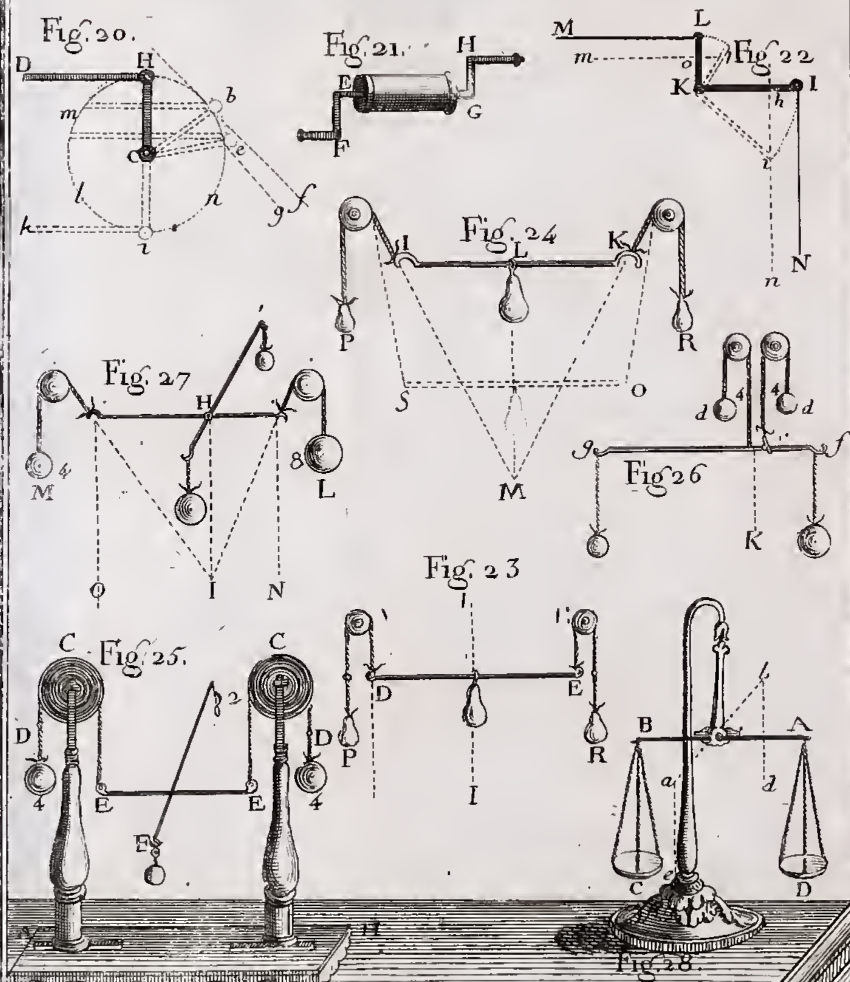
puissance & d'une résistance dont les directions sont paralleles entr'elles, & perpendiculaires à sa longueur, lorsqu'il est horizontal comme *A B*; ou faisant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorsqu'elle est inclinée comme *a b*; de sorte que s'il étoit possible de faire une balance d'une matiere inflexible & sans pesanteur, nous aurions peu de choses à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la nécessité où l'on est de faire le fléau de quelque matiere dure, telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimensions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vue ce que prescrit la théorie; je crois qu'il est à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juste ou défectueuse.

Les qualités essentielles d'une balance sont, 1° d'être bien mobile, c'est-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiere dont elle est chargée, fasse trébucher le fléau; afin qu'on puisse regarder son état d'équilibre comme

IX. LEÇON.

le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre : 2° Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre : 3e Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe ; car on ſait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de peſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement, & de la longueur des bras


Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22
Fig. 24
Fig. 27
Fig. 26
Fig. 23
Fig. 25.
Fig. 28.

bras, puisqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la pression au point d'appui soit la moindre qu'il est possible : & c'est pourquoi l'on fait très-léger le fléau des balances d'essais, où l'on a besoin d'une très-grande mobilité : mais il faut prendre garde aussi qu'étant trop foible il ne plie sous la charge des bassins ; car sa courbure auroit d'autres inconvénients dont nous ferons bientôt mention. C'est encore dans la vue de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau : & cette pratique est bonne, pourvu cependant que l'endroit du trou sur lequel il porte, soit comme lui très-dur ; car autrement, ou il se creuseroit avec le temps, ou il s'écraseroit lui-même ; & sa mobilité, au lieu d'être augmentée, diminueroit considérablement.

Si le fléau de la balance est suspendu par le centre de sa pesanteur, ses deux bras seront toujours en équilibre, dans quelque situation qu'on

IX. LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux ſoit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'uſage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de temps & d'attention pour charger les baſſins avec une égalité auſſi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'eſt pourquoi l'on a coutume de placer le centre du mouvement au-deſſus de celui de la peſanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29, avec quelle réſerve il faut uſer de ce correctif, qui n'eſt, à proprement parler, qu'une imperfection miſe à deſſein ; car ſi le triangle *ABC* repréſente un fléau de balance mobile ſur le point *C*, & qu'on lui faſſe prendre une ſituation inclinée comme *a b*, le centre de peſanteur qui eſt dans la ligne *CD*, quand les deux bras ſont dans un plan horizontal, ſe trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il eſt libre d'y revenir, l'accélération de ſa chûte le fera paſſer outre, il viendra en *f*; & c'eſt ce qui cauſe ces balancements qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

n'auroient pas lieu ſi le centre de peſanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

Puiſque de tels fléaux ne peuvent s'incliner ſans que le centre de peſanteur ſe déplace, & que ce déplacement ne peut ſe faire ſans un effort particulier, il eſt évident que cette conſtruction ôte à la balance une partie de ſa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il eſt poſſible de celui de la peſanteur, ſur-tout lorſque cet inſtrument doit ſervir à peſer des marchandiſes précieuſes dont les moindres quantités intéreſſent.

La longueur des bras contribue auſſi à la mobilité de la balance, par la raiſon que nous avons dite : c'eſt un moyen qui pourroit par lui-même rendre ſenſible le poids des plus petites portions de matiere ; mais un fléau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus peſant ou plus flexible ; l'un & l'autre ſont à craindre : le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande preſſion à l'axe : le ſecond, par des raiſons que nous allons rapporter.

IX. LEÇON.

La ſeconde condition que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'eſt que ſes deux bras ſoient parfaitement égaux; or ce n'eſt point aſſez qu'ils le ſoient quand on conſtruit l'inſtrument, il faut de plus qu'ils ne ceſſent point de l'être dans l'uſage. Si le fléau n'a pas toute la roideur néceſſaire, il ſe courbe ſous la charge des baſſins; & cette courbure, quelque petite qu'elle ſoit, diminue la mobilité, & jette de l'incertitude ſur les effets de la balance. Car premiérement, ſi la ligne droite *A B*, *Fig.* 30, devient courbe comme *a C b*, les courbures de part & d'autre ſe réduiſent aux deux lignes droites *a C*, *C b*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui eſt repréſenté par la *Figure* 29. Secondement les directions des puiſſances *a f*, *b g*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fléau. A la vérité, ceci n'eſt point un inconvénient, ſi ces angles, quoique différents de ce qu'ils étoient, ſont toujours ſemblables entr'eux; & c'eſt pour s'en aſſurer qu'on éleve une aiguille à an-

gles droits ſur le milieu du fléau. Si la châſſe eſt ſuſpendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille eſt perpendiculaire au plan de l'horizon ; & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles ſemblables, avec les directions des puiſſances dont ils ſont chargés ; mais cela ſuppoſe, comme l'on voit, ou que le fléau eſt demeuré droit, ou qu'il s'eſt courbé également de part & d'autre ; car ſi la partie *C b* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne ſera plus courte que *a C*, & ſon inclinaiſon ne ſera pas la même.

Cette différence d'inclinaiſon qu'on doit appréhender, ſi le fléau eſt flexible, & la difficulté d'en eſtimer le plus & le moins dans la pratique, ſont des raiſons ſur leſquelles j'établis la troiſieme condition : ſi, par le choix de la matiere, par la façon de la travailler, par une figure ou par des dimenſions bien ménagées, on conſtruit une balance de maniere que ſes bras ſoient inflexibles, ſans préjudicier aux autres qualités néceſſaires, ils ſeront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fléau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fléau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Fig.* 31.

Soient *A B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fléau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b*, à égales distances du centre du mouvement ; mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d*, plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fléau seul fait beaucoup de balancements, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que com-

me on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres ſoient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fléau, qui ſont, à proprement parler, les deux lignes *a c*, *b c*, ne ſont pas pour cela dans la même direction; & c'eſt une choſe à laquelle on doit avoir égard dans la conſtruction des balances, puiſque cela ſeul peut être cauſe que le centre de peſanteur ſe trouve hors du centre de mouvement (*a*).

L'aiguille que l'on place ſur le fléau pour connoître quand il eſt dans une direction horizontale, peſe en partie ſur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32; & par cette raiſon, toutes les fois qu'elle paſſe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle ſeroit cauſe d'erreur ſi l'on ne prévenoit ce inconvénient par un contre-

(*a*) Pour remédier à ces inconvénients, les bons ouvriers pratiquent aujourd'hui, à chaque extrêmité du fléau, une boule diviſée en deux par une traverſe, dont le bord ſupérieur un peu concave, eſt taillé en couteau, pour recevoir l'anneau ou l'*S* qui porte les cordons du baſſin. Voyez la figure 31 *.

IX. LEÇON.

poids *h i*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fléau ; mais ce contrepoids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pesanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand le fléau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contrepoids *h i*, sont d'une même piece, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la maniere dont elle seroit mise en usage : elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fausse, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fléau les masses dont on charge les bassins; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la châsse mal suspendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fléau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pu

voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fausse à qui l'on conservera cette propriété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pesant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matiere, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre, qu'à des distances égales du point d'appui.

La balance Romaine, ou peson qu'on a représenté par la *Fig.* 33, est encore un levier du premier genre, qui differe de la balance ordinaire, en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P*, que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à peser des quantités beaucoup plus grandes les unes que lèsa utres, que l'on attache au crochet *R* ; par-

IX. LEÇON.

ce que le bras de levier *C H* étant gradué, & la puissance *P* étant connue, on sait combien la résistance a plus de masse, par la différence qu'il y a dans les distances comprises entre l'une & l'autre, & le point d'appui.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet instrument, parce qu'on y peut appliquer presque tout ce qui a été dit ci-dessus touchant la balance ordinaire ; on remarquera seulement que le peson est d'un usage commode, en ce que n'ayant besoin que d'un seul poids qui n'est pas considérable, il est très-portatif en petit ; & quand on l'emploie en grand sur des masses qui sont très-pesantes, & qu'on ne peut pas diviser, on est dispensé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à rassembler, & le point fixe en est beaucoup moins chargé ; mais il faut observer aussi que cet instrument ne peut pas servir à peser exactement de petites quantités, parce qu'il n'est point assez mobile ; ce qui vient principalement de ce qu'un de ses bras est fort court.

DES POULIES.

La poulie, *Fig.* 34, eſt un corps rond & ordinairement plat, mobile ſur ſon centre *C*, & dont la circonférence extérieure eſt creuſée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part la puiſſance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la réſiſtance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde; c'eſt pourquoi, quand on a lieu de craindre que celle-ci ne gliſſe ſur l'autre, on creuſe la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig.* 35.

Le corps de la poulie ſe meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui ſoutient l'axe : on eſt dans l'uſage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie deſſus; il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement ſe faiſant ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottements; & quand bien même les trous de la chappe s'a-

IX. LEÇON.

grandiroient avec le temps, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement : ce qui ne se peut faire quand le centre de la poulie est trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1° qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent : 2° Que les puissances qu'on y applique, agissent d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande : 3° Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction parallele aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Figure* 36 représente une machine composée de deux piliers éle-

vés & fixés sur une tablette plus longue que large ; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un levier en équerre, dont les bras sont égaux, & qui tourne très-librement sur son clou & dans le même plan que la poulie.

On fait passer d'abord sur la poulie un cordon, aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laisse agir dans des directions parallèles & verticales comme *AP* & *BR*.

Ensuite on transporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du levier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *PA*, *FE*.

Enfin le poids *R* étant remis à sa premiere place, & le levier angulaire étant tourné de maniere que *D* soit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *dp*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du levier tournant.

EFFETS.

Les deux poids *P*, *R*, sont toujours en équilibre, non-seulement quand ils sont tous deux dans des directions paralleles & verticales, mais encore

lorsque l'un des deux agit horizontalement sur la poulie, soit que la corde embrasse les trois quarts de la poulie, soit qu'elle n'en embrasse qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée comme un assemblage de leviers du premier genre, dont les bras sont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où est l'axe. Lorsque le cordon est vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas glisser sur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux pieces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agissent à des distances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait son effort dans une direction perpendiculaire au bras du levier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre subsiste par les mêmes raisons dans les deux autres cas ; les rayons *GC* & *FC* sont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC*; & les directions *EF* & *eG* leur sont perpendiculaires comme *RB* l'est à *BC* : toute la dif-

férence qu'il y a, c'eſt que les deux puiſſances agiſſent d'abord par un levier droit *AB*, & qu'enſuite elles ſont comme appliquées à des leviers angulaires *ACG*, ou *ACF*; ce qui eſt la même choſe, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus. *

* Pag. 47.

XI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Figure* 37 repréſente une poulie compoſée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge; les diametres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2, & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de 6 onces chacun; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

EFFETS.

Quand les deux poids ſont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui eſt en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même choſe en *K* ; & quand celui-ci eſt ôté, 2 onces placées en *L* ſoutiennent le poids de 6 onces en *I*.

EXPLICATIONS.

Le rayon *C* 1 étant égal à *Cd*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts ſe font à égales diſtances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *Cd*, l'équilibre doit naître entre deux maſſes qui ſont en raiſon réciproque de ces deux longueurs ; ainſi 3 onces en ſoutiennent 6 ; & par la même raiſon 2 onces ſuffiſent à une diſtance qui égale trois fois *Cd*.

XII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La poulie *GH*, *Fig.* 38, eſt ſuſpendue par ſon axe dans deux petites boucles

boucles de métal, qui ſont ſoutenues de part & d'autre par des cordons qui paſſent ſur deux petites poulies, & qui ſe réuniſſent à deux poids égaux *B*, *D*, de ſorte que la grande poulie a deux mouvements ; car elle tourne ſur ſon axe à l'ordinaire, & ſon axe peut deſcendre avec elle d'une certaine quantité, lorſque la réſiſtance des poids *B*, *D*, vient à céder.

EFFETS.

Ces deux poids cedent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorſque deux autres poids *EF*, qui peſent enſemble & avec la poulie un peu plus que *B*, *D*, ſe trouvent dans des directions paralleles & verticales : & la poulie remonte en partie, lorſqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *AC*.

EXPLICATIONS.

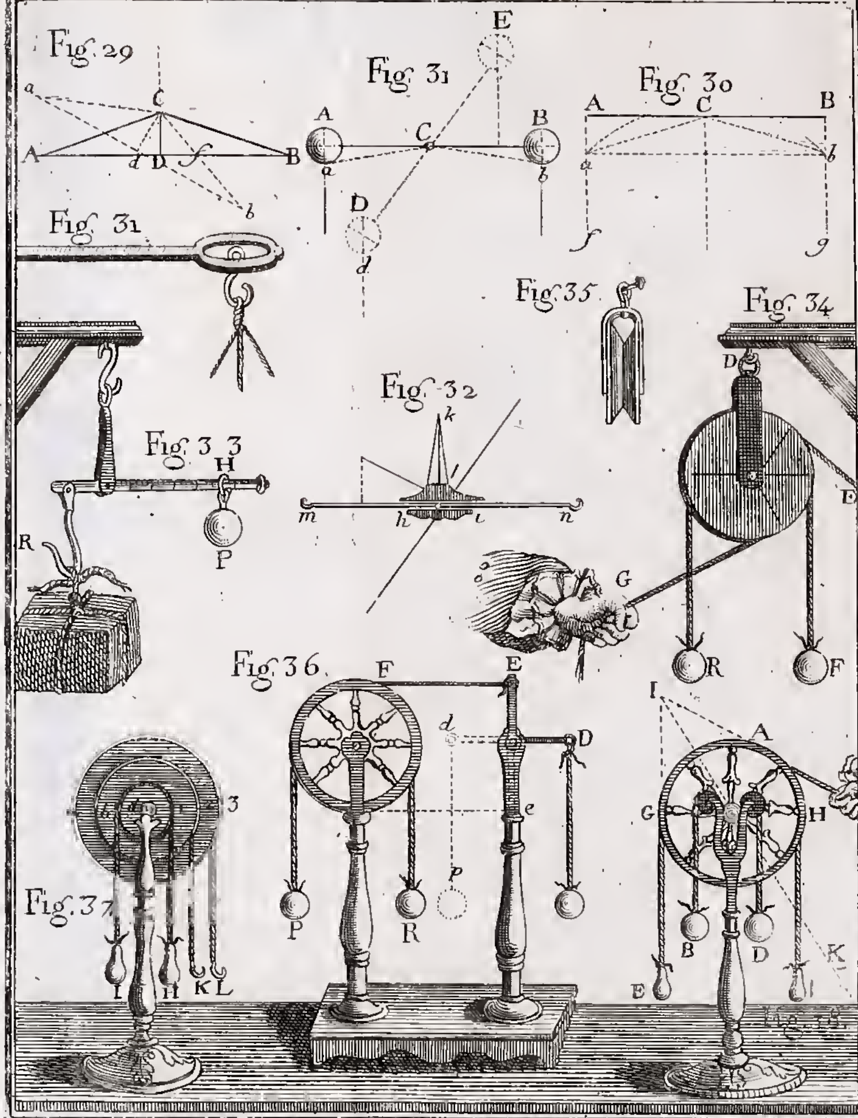
Quand les deux poids *E*, *F*, ſont ſuſpendus parallelement, leurs efforts ſont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrêmités d'un levier droit, & nous avons fait

IX. LEÇON.

voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la ſomme totale des deux maſſes ; l'axe qui le repréſente, ſouffre donc de haut en bas un effort qui égale les deux poids *E*, *F*, & celui de la poulie pris enſemble ; les deux autres *B*, *D*, qui s'oppoſent à ſa chûte, & qui repréſentent ſa réſiſtance de bas en haut, ſont un peu plus foibles que cette ſomme ; c'eſt pourquoi la poulie deſcend. Mais elle ſe releve quand un des côtés de la corde ceſſe d'être parallele à l'autre ; car alors l'effort qu'il ſoutient ſe fait ſelon la ligne *I K*, & ne porte plus qu'obliquementcontre les puiſſances *B*, *D*.

APPLICATIONS.

La poulie employée comme levier du premier genre, eſt un moyen ſimple & commode, & dont on ſe ſert fréquemment pour changer la direction du mouvement, car de quelque maniere que ſe préſente une puiſſance dans le plan où eſt la poulie, elle ſe trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conſerve toute ſon intenſité. Ainſi quoiqu'un cheval ou un bœuf


Fig. 29
Fig. 31
Fig. 30
Fig. 31
Fig. 35
Fig. 34
Fig. 32
Fig. 33
Fig. 36
Fig. 37

exerce naturellement ſa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ſes efforts à des réſiſtances qui ſont dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, ſi par le moyen d'une poulie on le met en oppoſition avec un plus fort.

IX. LEÇON.

Les leviers coudés ou angulaires, comme nous l'avons déjà fait remarquer, changent bien auſſi les directions; mais la poulie a cet avantage ſur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conſerve les puiſſances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aiſément par la ſeule inſpection des *Figures* 22 & 36.

Comme une poulie qui a pluſieurs gorges concentriques, * peut ſervir à rendre égales des forces qui ſont différentes entr'elles, lorſque les diametres de ces gorges ſont dans des rapports convenables, on peut conſéquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport conſtant entre deux puiſſances dont les forces relatives

Figure 37.

IX. LEÇON.

changent continuellement ; car, au lieu de plusieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la forme spirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uniforme l'action des ressorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la seconde Leçon *, que ces ressorts comme tous les autres, agissent toujours de plus en plus foiblement, à mesure qu'ils se détendent ; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur opposant toujours la même résistance, il est évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le temps que le ressort mettroit à se développer, si l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper sur un cylindre la chaîne qui sert à tendre le ressort, on la reçoit sur une fusée, dont la figure * est telle, que les tours vont toujours en diminuant

* Tom. I. p. 135. Fig. 10.

* Fig. 39.

de diametre , comme la tenſion du reſſort augmente. Tout l'art conſiſte à trouver ce rapport ; car la théorie ne peut ſervir qu'à en approcher, les Horlogers ſont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les reſſorts ne ſont jamais réguliérement flexibles & élaſtiques dans toutes les parties de leur étendue.

Quand on ſait de combien l'axe d'une poulie doit être chargé, on eſt en état de lui donner les dimenſions les plus convenables : ce qu'on doit avoir principalement en vue, c'eſt premiérement, qu'il ſoit aſſez fort ; ſecondement, qu'il n'ait que la groſſeur néceſſaire, afin d'éviter les frottements d'une trop grande ſurface. Mais comme la chappe d'une poulie eſt toujours attachée à quelque point fixe, il faut auſſi faire attention que ce qui la ſoutient ſoit aſſez ſtable pour réſiſter aux efforts qui ſe font ſur l'axe : il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts ; car tel appui réſiſteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

On peut auſſi conſidérer la poulie

IX. LEÇON.

ſimple comme un levier du ſecond genre ; elle en a effectivement les propriétés, lorſque la réſiſtance *R*, *Fig.* 40, étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre eſt tiré ou ſoutenu par la puiſſance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralleles entr'elles, comme *c I*, *d E*, ou elles ſont inclinées l'une à l'autre, comme *P k*, *c k*.

Dans le premier cas, la puiſſance ne porte que la moitié du poids de la réſiſtance ; dans le ſecond, l'effort de la puiſſance diminue, & le point d'appui ſe dirige au point de concours des directions de la puiſſance & de la réſiſtance, c'eſt-à-dire, en *k*.

XIII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A, *B*, *Fig* 41, ſont deux petites broches longues de trois pouces, qui gliſſent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du ſupport *G* ; la premiere ſert de point fixe à un cordon qui embraſſe une poulie char-

gée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un baſſin, & que l'on a miſe en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H*; & cette balance eſt ſuſpendue à l'autre broche *B*.

On met d'abord les deux petites broches à telle diſtance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie ſoient paralleles entr'eux.

Enſuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde des directions inclinées en ſens contraires; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le baſſin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fléau dans une ſituation horizontale.

EFFETS.

La poulie & ſon poids *D*, peſant enſemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le baſſin de la balance pour faire équilibre, lorſque les deux bouts de la corde ſont paralleles entr'eux, & dans une direction verticale; mais lorſqu'ils ſont inclinées comme *P I*,

IX. LEÇON. *g m*, de la *Fig.* 40, il faut charger davantage le baſſin de la balance pour le tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En conſidérant le bras *H* de la balance comme la puiſſance qui ſoutient la poulie & ſa charge, après que l'autre bout de la corde eſt fixé en *A*, le poids que l'on met dans le baſſin exprime ſans équivoque l'effort qui ſe fait ſur la puiſſance, lorſque tout eſt en équilibre. Or, on voit par les réſultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-deſſus, ſavoir, 1° que les directions des forces oppoſées étant paralleles, la puiſſance ne ſoutient que la moitié de l'effort de la réſiſtance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde ſont paralleles entr'eux, *c i* *, la direction de la réſiſtance eſt auſſi parallele à *d e* qui eſt celle de la puiſſance, & 4 onces dans le baſſin de la balance, en ſoutiennent 8 en *D*. 2° Que les directions des forces oppoſées n'étant plus paralleles, la puiſſance n'eſt plus égale à la moitié de l'effort

* Fig. 40.

l'effort de la résistance, & que la direction du point d'appui passe au point de concours des deux autres directions; car dans le second cas de l'expérience, où la puissance agit obliquement comme *P k*, 4 onces dans le bassin de la balance ne suffisent plus pour faire équilibre, & l'angle *g k c*, est égal à celui de l'autre part *P k c*. IX. LEÇON.

Quand les deux bouts de la corde sont paralleles, comme *a b*, *d e*, on peut les considérer comme étant attachés aux deux extrêmités du diametre *b e*; lorsqu'ils sont obliques, comme *P l*, *g m*, on peut les concevoir comme tenant aux deux points de tangence *l*, *m*: mais les deux lignes *e b*, *m l*, sont deux leviers du second genre, partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction *c i* de la résistance; le cordon suspendu en *a*, ou en *g*, transportant le point fixe en *b* ou en *m*, on voit tout d'un coup que la puissance appliquée en *e* ou en *l*, agit toujours à une distance *e b*, ou *l m*, du point d'appui, double de celle de la résistance placée en *c* ou en *i*. Or suivant ce qui a été enseigné touchant le levier, 4 onces à une

IX. LEÇON.

diſtance double du point d'appui, ſont capables d'en ſoutenir 8.

Mais quand la puiſſance ſe dirige obliquement, elle ne ſuffit plus aux mêmes effets qu'auparavant; parce que la direction perpendiculaire au bras du levier, eſt, comme nous l'avons fait voir, la plus avantageuſe de toutes, & que par conſéquent toutes les autres le ſont moins. Il eſt vrai que *P l*, eſt perpendiculaire au rayon *l c*; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puiſſance agit, eſt oblique à *c i*, direction de la réſiſtance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige ſon effort par *g m*, quand la puiſſance s'incline comme *P l*, parce que dans l'inſtant de cette inclinaiſon la poulie n'étant point ſoutenue du côté de la puiſſance, elle roule juſqu'à ce qu'elle le ſoit également de part & d'autre; ce qui n'arrive que quand l'angle *g k c* eſt égal à celui de l'autre part *P k c*.

APPLICATIONS.

Puiſque quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig.* 41, il ne faut

plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en ſoutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces eſt toujours la même, ſoit qu'elle agiſſe de haut en bas, ſoit que ſon effort ſe faſſe de bas en haut par le moyen d'une balance; on peut donc ſubſtituer au fléau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig.* 42, qui fera comme lui l'office d'un levier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à ſoutenir.

Si, pour réſiſter à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 43, & qu'on la faſſe paſſer ſous une troiſieme poulie *N O*, celle-ci, ſemblable à la premiere, deviendra un levier du ſecond genre, où la puiſſance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la réſiſtance qui charge l'axe, n'aura beſoin que d'une force abſolue qui ſoit moitié de la ſienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut; & s'il eſt plus commode de tirer de haut en bas, une quatrieme poulie donnera, comme la deuxieme, cette direction.

IX. LEÇON.

La ſeconde & la quatrième poulies qui ſervent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe; & ſi cette chappe eſt fixée par en-haut, ſa partie inférieure pourra elle-même ſervir de point fixe au premier bout de la corde que nous avons ſuppoſé être attachée en *F*.

Cette maniere de placer ainſi dans une même chappe pluſieurs poulies ou parallelement entr'elles, ou les unes au-deſſus des autres, eſt connue depuis long-temps ſous le nom de *moufles*, ou poulies *mouflées*. Ces machines ſont fort en uſage pour élever de grands fardeaux; & elles ſont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut, ſans embarras, augmenter à ſon gré l'action d'une même puiſſance; mais cela ne ſe fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîteſſe dans la puiſſance: car ſi la poulie qui eſt chargée de la réſiſtance, *Fig.* 40, s'éleve juſqu'à la ligne *d a*, il eſt évident que la puiſſance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le

même temps, puiſque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent ſe trouver au-deſſus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y ſera parvenu ; or ces deux longueurs *a b*, *d e*, égalent deux fois la hauteur *c h*. IX. LEÇON.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puiſſance, ne peut pas être augmenté à l'infini ; quand une fois les moufles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottements inévitables cauſent enſuite un déchet dans le produit des forces motrices, qui ſurpaſſe ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit auſſi diſpoſer les moufles de façon que les directions des cordes ſe trouvent paralleles le plus qu'il eſt poſſible ; car nous avons fait voir que les puiſſances qui agiſſent obliquement, en ont moins de forces, toutes choſes égales d'ailleurs.

Des Roues.

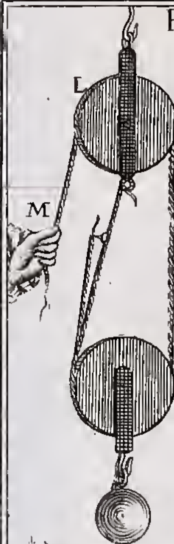
Une *roue* eſt, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile ſur ſon centre : la circonféren-

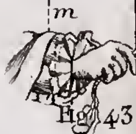
IX. LEÇON.

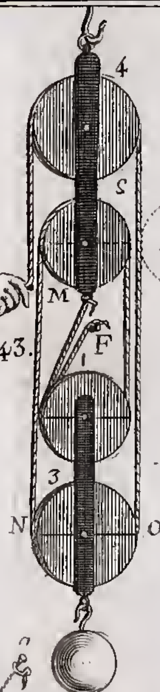
ce, au lieu d'être creuſée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou tranſmet celui qu'elle a reçu, par ſon frottement, ou par certaines parties ſaillantes qu'on y réſerve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, ſuivant la forme & la grandeur qu'elles ont.

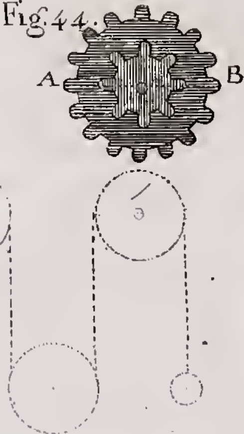
Les roues ſe meuvent de deux façons ; ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui eſt attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui ſervent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien, roulant ſur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le travere, dans une direction parallele au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles ſont celles que l'on met aux carroſſes & aux autres voitures.

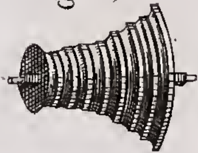
Les roues qui n'ont qu'une ſorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être conſidérées comme des leviers du premier genre, qui ſervent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le tranſmettre au loin,

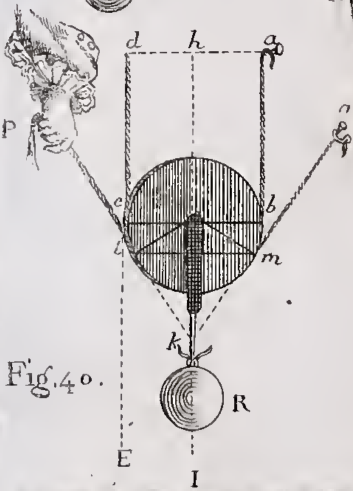

Fig. 42.
L
l
M
m

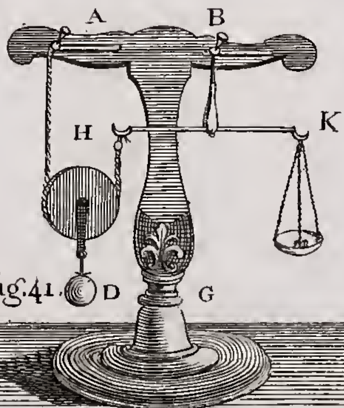



4
5
M
Fig. 43.
F
1
3
N
O


Fig. 44.
A
B


Fig. 39.


d
h
a
P
c
b
l
m
k
Fig. 40.
R
E
I


A
B
H
K
Fig. 41.
D
G

à rendre égales entr'elles des puiſſances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîteſſe dans l'une des deux. IX. Leçon.

1° Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44, peuvent être priſes pour les extrémités d'un levier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de mouvement *C*; & ſi l'on place ſur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puiſſances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raiſon une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2° On auroit encore le même effet, ſi la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée ſur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniére le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45, ſe peut tranſmettre à une grande diſtance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3° Si ce dernier pignon engréne une autre roue *E*, qui ait des dents paralleles à ſon axe, le mouvement

IX. LEÇON. qui lui sera transmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4° Enfin si la roue *E* a quatre fois plus de diametre que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut se mouvoir sans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre fassent quatre tours, pour faire tourner une fois la roue horizontale *E* : & réciproquement si l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on suppose donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui fasse faire un tour dans une seconde, le mouvement aura quatre fois plus de vîtesse, lorsqu'il fera tourner la manivelle *F*, que quand on appliquera la même puissance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux sortes de mouvements, comme celles des voitures, dont le centre se porte en avant, tandis que les autres parties tournent autour de lui, on doit les regarder comme un levier du second ou du troisieme genre, qui se répete autant de fois qu'on peut imaginer

de points à la circonférence ; car chacun de ces points eſt l'extrêmité d'un rayon appuyé d'une part ſur le terrein, & dont l'autre bout chargé de l'eſſieu qui porte la voiture, eſt en même-temps tiré par la puiſſance qui la mene : de ſorte que ſi le plan étoit inflexible, parfaitement uni & de niveau, ſi la circonférence des roues étoit bien ronde & ſans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & ſi la direction de la puiſſance étoit toujours appliquée parallelement au plan, une petite force meneroit une charrette très-peſante ; car la réſiſtance qui vient de ſon poids, repoſe entiérement ſur le terrein par le rayon *C M*, *Fig.* 46, ou par un ſemblable qui lui ſuccede l'inſtant d'après.

Mais de toutes les conditions que nous venons de ſuppoſer, & dont le concours ſeroit néceſſaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'uſage ordinaire.

Les roues des charrettes ſont groſſiérement arrondies & garnies de gros clous ; les chemins ſont inégaux par eux-mêmes, ou ils le de-

IX. LEÇON.

viennent par le poids de la voiture qui les enfonce ; ces inégalités soit des roues, soit du terrein, font appuyer la roue par un rayon CQ ou CN, oblique à la direction de la puissance PC, ou à celle de la résistance CM ; le poids qui réside en C pese donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer qu'en le faisant monter autant que le point Q ou N est au-dessus de M.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies & droites ; il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toujours considérable, comme nous l'avons remarqué dans la troisieme Leçon. *

* Tome I. p. 233.

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne CP, *Fig.* 46, parallele à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par CS, ou CR, c'est-à-dire, obliquement à la direc-

tion *CM* de la résistance, & par conséquent avec désavantage.

Mais s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues; car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrein, comme on le peut voir par la *Fig.* 47, & parce que la circonférence d'une grande roue mesure en roulant plus de chemin que celle d'une petite; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottements.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou six pieds de diametre; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à-peu-près à la hauteur du trait d'un cheval; ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrein; c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

IX. LEÇON.

Du TREUIL, ou TOUR : & du VINDAS ou CABESTAN.

L'inſpection ſeule des *Figures* 48 & 49, ſuffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement parler, ſont la même à qui l'on donne différents noms, ſelon les différentes poſitions dans leſquelles on l'emploie. Quand le rouleau ou cylindre *A B*, qui reçoit la corde, & qui eſt la partie principale, ſe trouve placé horizontalement, la machine ſe nomme *Tour* ou *Treuil*; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabeſtan*, quand ce même rouleau eſt vertical.

Ces deux machines ſont employées fréquemment aux puits, aux carrieres, dans les bâtiments, pour élever les pierres & autres matériaux, ſur les vaiſſeaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit dans une infinité d'autres endroits où elles ne ſont différentes que par la façon, ou par la matiere dont elles ſont faites. Les *tambours*, les *fuſées*, les *bobines* ſur leſquelles on

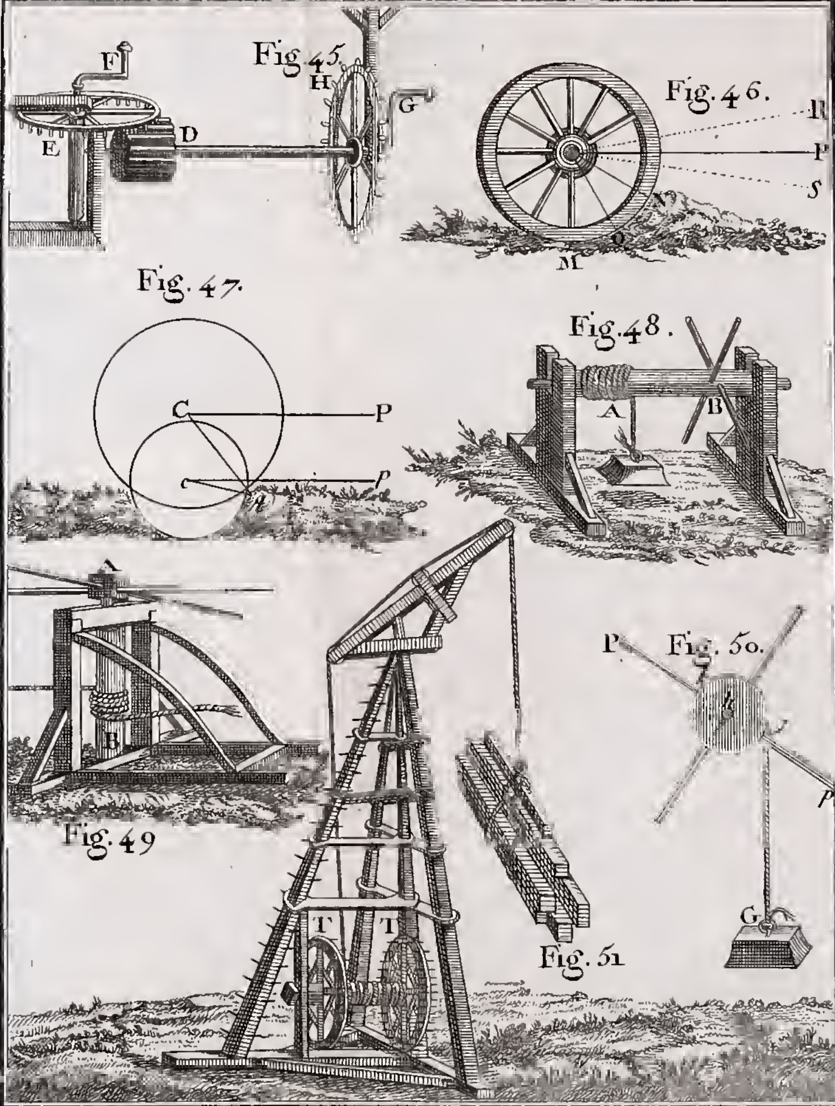
enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les ressorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabestans.

Ce que nous avons dit des poulies & des roues, comprend ce qu'il y a de plus important à savoir touchant le treuil : car si l'on conçoit l'arbre tournant comme une suite de poulies enfilées sur le même axe, si l'on considere les leviers en croix, qui servent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés de la premiere de ces poulies; enfin si l'on fait attention que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à son mouvement, on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un levier sans fin, du premier ou du second genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, savoir le demi-diametre du cylindre *g h*, *Fig.* 50, par lequel agit la résistance, & un autre rayon *h k* du même cylindre prolongé par un des leviers qui forment la croix, & par lequel la puissance fait son effort.

IX. LEÇON.

La puissance P ou p est donc à la résistance G, comme la longueur Ph, ou ph, est à gh, ou kh; c'est-à-dire, que si chacun des leviers croisés, à compter depuis le centre du cylindre, est quatre fois plus long que le demi-diametre gh, un poids de 400 livres, attaché à la corde Gg, peut être soutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui résisteroit en P.

Mais si l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniere contre 400; lorsque le levier P viendroit à tourner, la puissance prendroit une direction désavantageuse & ne suffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, si ces leviers croisés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'est pourquoi aux carrieres, aux minieres, & dans les grues où le treuil est employé en grand, les leviers croisés aboutissent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme T, T, *Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même distance du


Fig. 45
F
H
G
E
D
Fig. 46.
R
P
S
N
O
M
Fig. 47.
C
P
c
p
a
Fig. 48.
A
B
Fig. 49
B
P
Fig. 50.
p
G
T
T
Fig. 51

centre du mouvement, & perpendiculairement au levier, agit uniformément, & plusieurs peuvent travailler en même temps par un même rayon sans s'incommoder réciproquement. IX. Leçon.

Si la corde, après avoir enveloppé le rouleau dans toute sa longueur, retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisieme fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diametre du rouleau; car puisque son rayon est le levier de la résistance, quand le diametre de la corde est ajouté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant; mais aussi par une sorte de compensation, la partie de la corde qui est enveloppée sur l'arbre, cesse de peser contre la puissance.



II. SECTION.

Du Plan incliné.

EN traitant de la peſanteur dans la ſixieme leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chûte des corps graves. Nous ſuppoſerons donc comme une vérité prouvée, qu'une maſſe qui roule ou qui gliſſe de haut en bas, le long d'un plan incliné, eſt en partie ſoutenue par ce plan, & qu'elle l'eſt d'autant plus que l'inclinaiſon eſt plus grande.

* *Tome II. pag. 177 & ſuiv.*

Il ſuit de ce principe, qu'une puiſſance appliquée à ſoutenir un corps ſur un plan incliné, n'a pas beſoin d'être égale au poids de ce corps ; & comme un poids n'eſt autre choſe qu'une force dont la direction eſt déterminée, on peut dire plus généralement qu'une puiſſance quelconque, qui eſt obligée de ſuivre un plan incliné à ſa direction, peut être égalée ou vaincue par une autre puiſſance plus foible.

Mais

Mais puisqu'un plan fait obstacle à la chûte d'un corps, parce qu'il est oblique à la direction de la pesanteur, on doit présumer qu'il affoiblira de même toute autre puissance dont la direction sera oblique à la sienne; & en effet l'expérience prouve, 1° Qu'une petite force en soutient une plus grande sur un plan incliné; 2° Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage que quand sa direction est parallele au plan incliné, par lequel elle fait son effort.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La machine qui est représentée par la *Fig.* premiere, est composée d'une tablette *A C*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre; elle est jointe par une charniere en *C* à une autre tablette au bout de laquelle est fixé un quart de cercle qui sert à régler & à fixer son inclinaison: *D* est un cylindre de bois dur qui pese 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement sur son axe, dans une espe-

IX. LEÇON.

ce de chappe de métal, soutenue par deux cordons qui passent sur deux poulies de renvoi *e*, *e*, & au bout desquels sont attachés deux poids *d*, *d*, de deux onces chacun. Les deux petites poulies sont portées par une piece de métal, que l'on peut placer à différents endroits sur le quart de cercle.

On incline le plan *A C* à-peu-près de 45 degrés; on place le cylindre ou rouleau *D* en sa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau soient paralleles au plan incliné, & on laisse agir les deux poids *d*, *d*.

Ensuite on répete la même chose, excepté seulement qu'on place les poulies de renvoi en *E* ou en *F*, afin que leurs directions se trouvent au-dessus & au-dessous du plan incliné, & faisant un angle avec lui, comme *A D F*, ou *A D E*.

EFFETS.

Les cordons étant dans une direction parallele au plan incliné, les deux poids qui pesent ensemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en pese environ 6. Mais

lorſqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne ſuffiſent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive ſi, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *A C*.

EXPLICATIONS.

Le rouleau de notre expérience eſt un corps grave qui eſt naturellement déterminé à ſe mouvoir de haut en bas, & perpendiculairement au plan de l'horizon : deux cauſes concourent à l'arrêter ; la premiere eſt la réſiſtance du plan incliné ſur lequel il poſe ; la ſeconde eſt l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette derniere cauſe agiſſoit ſeule, il faudroit que la ſomme des deux poids fût égale à la maſſe du rouleau : on a vu par le réſultat de l'expérience, que 4 onces en ſoutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il eſt donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut ſoutenir une plus grande.

Pour rendre raiſon de cet effet, ſuppoſons que la ligne *a c*, *Fig.* 2,

soit le plan incliné, que le cercle *d f g* est la base du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réside au centre *k*, & qu'il est en équilibre avec une puissance dont la direction est *k p*, pendant que son poids le sollicite à tomber par la ligne *k h*, perpendiculaire à l'horizon *b c*. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrêmité *k*, d'un même rayon ou levier, dont l'autre bout *d* est appuyé sur le plan ; mais l'une des deux fait avec ce levier un angle droit *p k d*, elle agit dans la direction la plus avantageuse qu'elle puisse avoir ; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu *d k h*, ce qui le réduit à la longueur *d e*, selon ce que nous avons enseigné dans la section précédente ; ainsi comme *d e* est plus court que *d k*, on peut dire que le poids du rouleau le cede d'autant à la puissance *p* : & pour ramener ceci à une regle générale, on doit faire attention que le triangle *d k e* est semblable à celui qui représente le plan incliné *a b c*, & que les deux lignes *d e*, *d k*, par conséquent ont le mê-

me rapport entr'elles que *a b* & *a c*; d'où il ſuit cette propoſition, que *le poids du mobile eſt à la puiſſance qui le ſoutient, comme la hauteur du plan incliné eſt à ſa longueur*: c'eſt-à-dire, que ſi la ligne *a b*, hauteur du plan, eſt à la ligne *a c*, qui exprime ſa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut ſoutenir un poids de 3 onces, placé ſur un plan incliné.

Mais comme la puiſſance n'a cet avantage ſur la réſiſtance qu'en conſéquence d'une direction plus favorable à ſon effort, elle doit en avoir moins lorſqu'elle ceſſe d'agir parallélement au plan; car dans toute autre poſition, elle eſt inclinée au rayon *d k*. Le plan incliné n'eſt favorable à la puiſſance que parce qu'il ſoutient en partie le poids du mobile. Quand cette puiſſance agit au-deſſus du plan comme *k i*, elle ne laiſſe pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter, & ſi elle s'en éloigne juſqu'à tirer directement le poids ſuivant la ligne *k l*, il eſt évident qu'alors le plan n'eſt plus chargé de rien, & que l'effort de la puiſſance doit être égale au

poids du mobile pour le ſoutenir.

IX. LEÇON. Lorſqu'elle agit au-deſſous du plan, comme $k\ m$, une partie de ſa force eſt employée en pure perte contre le plan ; & l'on conçoit bien que ſi elle s'abaiſſoit juſqu'à prendre la direction $k\ n$, la réſiſtance du plan, devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

APPLICATIONS.

L'expérience que nous venons d'expliquer fait voir, non-ſeulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des réſiſtances, ou pour ſoutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale ; elle fait connoitre auſſi qu'un mobile, dont le centre de peſanteur n'eſt point ſoutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il poſe d'ailleurs ; car il ne ſuffit pas que le rouleau porte au point d ſur le plan * ; ſans l'effort de la puiſſance p, il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de ſa peſanteur, qui agit dans la di-

*Fig. 2.

rection *k h* n'est point soutenu.

C'est ainsi qu'on peut rendre raison d'une infinité d'effets dont on est surpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3, par exemple, représente un solide *A* composé de deux cônes qui sont joints par leurs bases ; on pose ce corps sur deux regles *B C*, *D C*, qui font ensemble un angle aigu, & qui sont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de sorte qu'il est comme sur un plan incliné ; lorsqu'on le laisse libre, il monte en roulant, & suit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'est point soutenu ; car lorsqu'il est placé en *C*, il y resteroit en repos, s'il portoit sur un rayon *a e*, perpendiculaire au plan horizontal *e f*, *Fig.* 4 ; mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui sont plus reculés, comme *g* : ainsi le centre de gravité qui est en *a* porte à faux, & le corps entier com-

IX. LEÇON.

mence à rouler de *C* vers *B*. A mesure qu'il s'avance dans cette direction, les deux regles étant de plus en plus écartées, le mobile descend d'une quantité égale au demi-diametre *a e*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il semble s'être élevé; & le point *a*, par rapport à l'horizon, descend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'est point soutenu, il est vrai de dire aussi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce même centre est appuyé; c'est pour cela qu'on voit tant d'édifices qui ont perdu leur à-plomb & qui ne laissent pas que de se soutenir, & certains ouvrages bâtis en saillie, qui ne manquent point pour cela de la solidité qu'il leur convient d'avoir.

On seroit peut-être tenté de croire que c'est pour le bon air qu'un danseur de corde gesticule presque toujours des bras; mais la vraie raison, c'est que comme il marche sur une espece de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes manieres sous ses pas, lorsqu'il s'apperçoit que le centre de sa pesanteur

teur n'eſt pas ſoutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en alongeant le bras du côté oppoſé, comme un levier dont le poids eſt d'autant plus puiſſant que ſes parties ſont plus loin du centre de leur mouvement: & lorſqu'il n'eſt point encore aſſez habile dans ſon art, il emploie pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, ſelon le beſoin.

Les enfants qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différents plans ſur leſquels ils paſſent, évitent, par les mouvements de leurs bras, une partie des chûtes auxquelles les expoſe preſque continuellement une démarche qui n'eſt pas encore bien aſſurée.

Pourquoi les perſonnes qui ont un gros ventre ſe penchent-elles en arriere? c'eſt que ſans cette attitude, le centre de peſanteur trop peu ſoutenu, les mettroit en danger de tomber ſur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau ſur le dos, ſe courbe en avant, parce

IX. LEÇON.

que sa charge & lui ont un centre de gravité commun, qui le plus souvent se trouve placé hors du porteur, & qui ne seroit point soutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de nécessité qu'il se penche jusqu'à ce que ce centre se trouve dans une ligne verticale qui passe entre ses deux pieds.

Quand on veut se tenir debout sur une jambe, on est obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement sur celui des deux pieds qui doit le soutenir; si l'on veut se baisser en portant la tête en avant, il faut nécessairement porter en arriere la partie opposée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre; voilà pourquoi l'on ne peut ni se tenir sur un seul pied, ni rien ramasser devant soi en se baissant, lorsque l'on a immédiatement à côté & derriere soi un mur ou un arbre qui empêche les mouvements qu'il faut faire pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui passe au point d'appui.

DES MACHINES

IX. LEÇON.

Qui sont composées de plans inclinés.

Parmi les machines qui agissent comme plans inclinés, les plus simples, & celles dont l'usage est le plus commun, sont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux especes ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

Du Coin.

On donne communément le nom de Coin à un corps dur composé de trois plans qui terminent deux triangles, comme *D A C*, *Fig.* 5 ; les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement se nomme *la Base*, ou *la Tête*, & la hauteur se mesure par la ligne *A B* qu'on regarde aussi comme l'*axe* du coin.

On se sert ordinairement de cette machine pour fendre, soulever, ou presser quelque matiere ; & pour la

faire agir, on emploie la preſſion d'un reſſort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vîteſſe, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus ſouvent la réſiſtance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut déſunir & écarter; cette adhérence qui varie à l'infini, ſelon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonſtances, ne peut s'eſtimer que très-difficilement; d'un autre côté, la percuſſion que l'on emploie pour faire agir le coin, eſt une force qu'il eſt bien difficile de comparer ſans erreur à celle d'une ſimple preſſion, parce que le produit de ſon effort ne dépend pas ſeulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui eſt frappé, de la maniere dont il reçoit le coup, & de pluſieurs autres cauſes qui influent ſouvent plus ou moins qu'on ne l'a penſé. J'écarterai donc toutes ces conſidérations comme étrangeres à mon objet préſent; &

pour me renfermer précisément dans les propriétés du coin, je supposerai des puissances dont on connoît la force absolue, comme des poids ou des ressorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à considérer que les rapports que prennent entr'elles la puissance & la résistance, par la seule interposition du coin.

En considérant les différentes manieres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, auxquelles il me semble qu'on peut rapporter toutes les autres, avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux corps *A*, *B*, *Fig.* 6, appuyés sur un plan bien solide, sur lequel ils ne puissent que glisser ou rouler dans les directions *CD*, *CD*; je suppose aussi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppose à ce mouvement : si je fais descendre entre les deux corps le coin *FGH* de toute sa hauteur, il est certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, seront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la base *FH*. On conçoit bien aussi qu'ils le seroient plus ou moins, si j'employois

IX. LEÇON.

un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme *im G*, ou *ln G*; mais pour tranſporter ainſi deux maſſes qui réſiſtent, il faut de la force, & l'on eſt obligé d'en employer davantage quand on les tranſporte à une diſtance plus grande dans un temps déterminé.

Secondement, je me repréſente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig.* 7, tandis qu'elles réſiſtent à cet écartement, par la liaiſon des fibres qui ſont encore unies au-deſſous de l'angle *p*. Je conçois les deux lignes *ſp*, *pq*, & de l'autre part *tp*, *tr*, comme deux leviers angulaires, dont les bras *pr*, *pq*, ſont liés enſemble par des fils également diſtants l'un de l'autre; le coin agiſſant en *t* & en *ſ*, fait donc ſon effort par les deux bras *tp*, *ſp*, contre le premier lien qui eſt à l'angle *p*, tandis que les deux autres bras s'appuient mutuellement l'un contre l'autre au-deſſous. Si ce lien eſt inflexible, & qu'il ne puiſſe céder ſans ſe rompre, l'effort du coin produira cet effet, s'il excede un peu la force de ce fil; & s'il eſt une

fois rompu, celui qui le ſuit immédiatement, quoiqu'auſſi fort, ſe rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le levier de la puiſſance eſt augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au ſecond lien; & par la même raiſon, cet avantage que reçoit la puiſſance doit aller toujours en augmentant. N'eſt-ce pas pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matieres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclat, & ſe fendent fort aiſément dès qu'on a commencé à les entamer? Il n'en ſeroit pas tout-à-fait de même ſi ces liens que je ſuppoſe étoient flexibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laiſſeroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne ſuffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

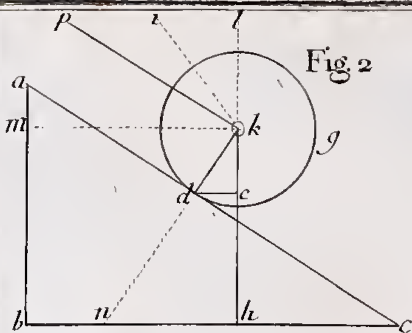
Que le coin agiſſe de l'une ou de l'autre façon, il paroît 1° : Qu'on peut s'en ſervir avantageuſement pour vaincre de grandes réſiſtances: 2° Que ſon action devient d'autant

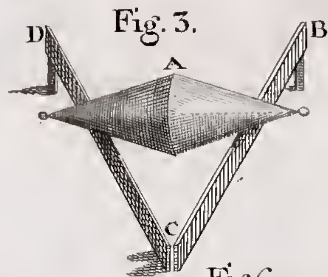
IX. LEÇON. plus puiſſante, qu'il eſt plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propoſitions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puiſſances qui agiſſent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

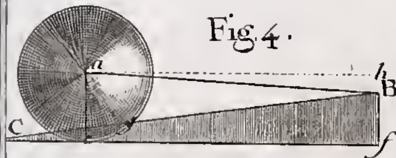
II. EXPÉRIENCE.

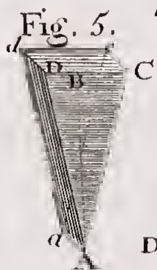
PRÉPARATION.

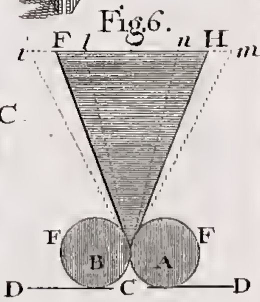
Les deux plans *A C*, *B C*, *Fig.* 8, forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniere qui eſt au point *C*, & de deux écroux *E*, *F*, qui arrêtent les deux autres extrêmités à la regle *G H*; pour cet effet cette derniere piece doit être percée d'une rainure à jour dans laquelle on fait gliſſer deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *D I* eſt un chaſſis placé horizontalement ſur deux montants qui aboutiſſent à une tablette qui leur ſert de pied. Deux rouleaux *m*, *n*, tournent dans de petites chapes qui gliſſent avec beaucoup de facilité, ſur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chaſſis. Deux cordons qui tiennent de

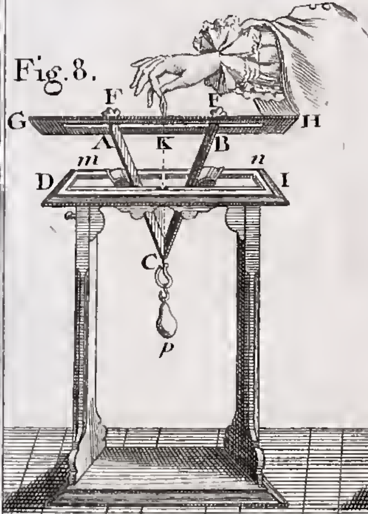

Fig. 2
p
i
l
a
m
k
g
d
c
b
n
h
c

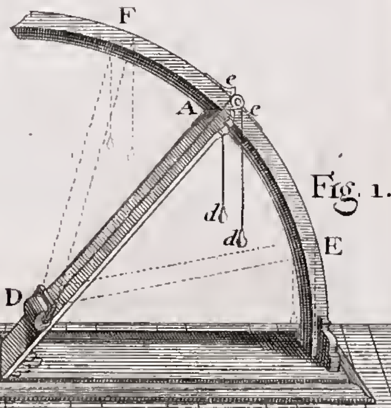

Fig. 3.
D
B
A
C


Fig. 4.
a
h
B
C
f


Fig. 5.
d
D
B
C
a
A


Fig. 6.
i
F
l
n
H
m
F
B
A
F
D
C
D


Fig. 8.
F
F
G
H
A
K
B
m
n
D
I
C
p


F
e
A
e
Fig. 1.
d
d
E
D
G

part & d'autre aux chapes des rouleaux, & qui paſſent ſur deux paires de poulies placées au milieu du chaſſis *D I*, ſont reçus en *C* par une bride de métal à laquelle on attache un poids. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *ABC*, agiſſant contr'eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux; enſuite on l'ouvre de maniere que ſa baſe *A B*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

EFFETS.

1° Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne peſe qu'environ 8 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2° Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe, il écarte encore les rouleaux, c'eſt-à-dire, qu'a-

IX. LEÇON. vec un effort d'une demi-livre il fait équilibre à une force qui eſt quadruple.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig.* 9, & que les deux rouleaux *m*, *n*, ne puſſent s'écarter l'un de l'autre ſans faire monter d'autant ces deux poids, il eſt certain que ſans l'intermede de la machine, il faudroit une maſſe égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter : or nous voyons que par le moyen d'un coin, 8 onces les enlevent ; nous voyons auſſi qu'avec ces 8 onces on produit le même effet quand la baſe du coin égale ſeulement la moitié de ſa hauteur : nos deux propoſitions ſont donc prouvées ; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui ſe meut, ou qui tend à ſe mouvoir, vient de ſa maſſe & du degré de vîteſſe qu'il a ou qu'il auroit ſi le mouvement avoit lieu. Or le coin *a b c* ne peut deſcendre de toute ſa hauteur, que les rouleaux ne

parcourent en même temps les deux espaces $c\,l$, $c\,i$, & que par conséquent les deux poids p, r, ne fassent autant de chemin en montant ; mais chacun de ces espaces n'est que le quart de la hauteur du coin, de sorte qu'un point placé en k fait dans le même temps quatre fois autant de chemin en descendant, que les poids p, r, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre le poids k doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vîtesses, c'est-à-dire, une demi-livre contre 2 livres lorsque la ligne kc est quadruple de la ligne ak ; d'où il suit cette proposition générale : *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la demi-base du coin est à sa hauteur* ; ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente, & que le coin est bien aigu.

APPLICATIONS.

Les usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres, & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé,

qu'on chaſſe à coups de marteaux : on
IX. LEÇON. peut dire en général que tous les outils tranchants, de quelque nature qu'ils ſoient, la coignée & la ſerpe du bucheron, le ciſeau & la gouge du ſculpteur & du menuiſier, la lancette & le ſcalpel du chirurgien, le couteau & le raſoir qui ſont entre les mains de tout le monde, ſont autant de coins dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté ſont proportionnés à la qualité des matieres ſur leſquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette obſervation ſe preſente d'elle-même, lorſqu'on fait attention que tous ces inſtruments ont eſſentiellement deux ſurfaces plus ou moins inclinées l'une à l'autre, & qui forment toujours à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'eſt l'angle qui eſt la partie eſſentielle du coin, il n'eſt pas néceſſaire qu'il ſoit formé par le concours de deux ſeuls plans ; les clous qui ont quatre faces qui aboutiſſent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la ſuperficie peut être regardée com-

me un aſſemblage de lignes qui ſe réuniſſent à un angle commun, font auſſi l'office des coins, & doivent être conſidérés comme tels. IX. LEÇON.

Il faut remarquer que, parmi les différentes ſortes de tranchants, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant ſelon leur longueur, en même temps qu'on les appuie directement contre le corps qu'on veùt entamer ; tels ſont les couteaux, les biſtouris, &c. Ces ſortes d'inſtruments agiſſent en même temps comme des coins & comme des ſcies ; car il faut ſavoir que le tranchant le plus fin eſt compoſé de parties qui ne ſont pas toutes exactement dans la même ligne : les unes plus hautes que les autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microſcope, & qui ne tiennent pas contre un long uſage ; c'eſt pourquoi l'on a ſoin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame ſur une pierre à aiguiſer ; (ce que l'on nomme *donner le fil* :) tout inſtrument qui coupe de cette maniere n'a pas beſoin qu'on l'appuie auſſi fort qu'un autre ; c'eſt pourquoi

IX. LEÇON.

dans les opérations de chirurgie on préfere, autant que l'on peut, l'usage du bistouri à celui des ciseaux qui ne coupent qu'en serrant, pour éviter la contusion des parties; & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant soit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut aussi entamer & diviser un corps contre lequel il ne seroit que pressé directement. C'est une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main sur le tranchant d'un rasoir; la peau véritablement résiste un peu plus quand l'instrument n'agit sur elle que comme un coin, sur-tout s'il attaque à la fois une grande étendue; mais il est toujours dangereux d'essayer jusqu'où peut aller cette résistance.

Des Vis.

La *Vis* est un cylindre ou un cône fort alongé, sur lequel on a creusé une gorge qui tourne en spirale; la cloison qui est réservée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis; & la distance qu'il y a d'un filet à l'autre

ſe nomme le *Pas* : on pratique auſſi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure ; & quand ces deux ſortes de vis ſont tellement proportionnées que le filet de l'une peut ſe mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui eſt creuſe prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant ſeulement les yeux ſur les *Fig.* 10 & 11, on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne conſidérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la réſiſtance, n'eſt autre choſe qu'un plan incliné à la baſe du cylindre qu'il enveloppe ; & que ce plan eſt d'autant plus incliné que les pas ſont moins grands ; ainſi lorſqu'une vis tourne dans ſon écrou, ce ſont deux plans inclinés dont l'un gliſſe ſur l'autre. La hauteur eſt déterminée pour chaque tour par la diſtance d'un filet à l'autre, & la longueur eſt donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis : car ſi l'on développe un de ces filets *a b*, avec ſon pas *bc*, on aura le triangle *a b c*, *Fig.* 10.

Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache ou l'on appli-

IX. LEÇON.

que l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance qu'il faut vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur ; & ce qui résiste à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des serruriers, par exemple, une des deux machoires est poussée par l'action d'une vis contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puissance fasse un tour entier pour faire avancer la résistance d'un pas, c'est-à-dire, d'un filet à l'autre ; ainsi en la supposant appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse, est *a c*, & celui de la résistance est *b c*; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou avec quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle menoit immédiatement la vis ; ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse, c'est la circonférence d'un cercle dont le levier *DE* est le demi-diametre. On peut donc établir

établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottements, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* b c, *est à la circonférence que décrit l'extrêmité* E *du levier par lequel on agit*, c'est-à-dire, *en raison réciproque des vîtesses*.

Selon la matiere dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires, comme dans la *Fig.* 10, ou quarrés, comme dans la *Figure* 11.

Ceux-ci se pratiquent ordinairement aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottements. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte: on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois; je veux dire ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les meches des vrilles & des tarieres,

IX. LEÇON.

comme des coins tournants, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il eſt plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale eſt une vis, il en eſt deux qui tiennent un rang diſtingué; l'une eſt cette fameuſe vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimede ſon Auteur, & qui peut, dans bien des occaſions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre eſt la *vis ſans fin*, ainſi nommée, parce que ſon action eſt continue du même ſens, au contraire des vis ordinaires qui ſe meuvent dans un écrou, & qui ceſſent de tourner qand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimede eſt compoſée d'un cylindre incliné à l'horizon, qui tourne ſur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12, & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par ſon propre poids en *d*: lorſqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau paſſe au point *e*, & le mobile que ſon poids retient toujours à l'endroit le plus bas, ſe trouve dans

le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui eſt venu en *g*. En continuant ainſi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut ; de ſorte que par le moyen de cette ingénieuſe machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait deſcendre. Si la partie inférieure de cette vis eſt plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à meſure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en-haut.

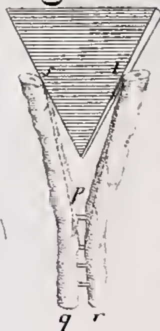
Comme cette machine ſe meut ſur deux pivots, une force peu conſidérable peut la faire tourner, pourvu qu'elle ſoit bien en équilibre avec elle-même ; mais on ne peut guere s'en ſervir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorſqu'il s'agit de deſſécher un terrein ; parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre.

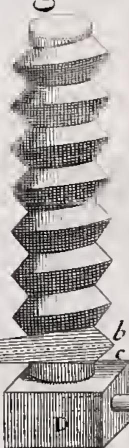
Ce que l'on nomme ordinairement *Vis ſans fin*, eſt une machine compo-

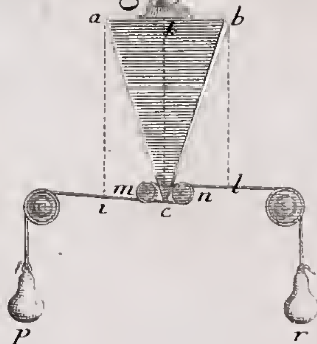
IX. LEÇON.

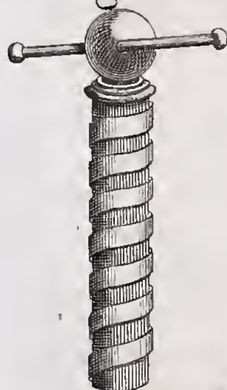
ſée d'une vis dont le cylindre ou noyau tourne toujours du même ſens ſur des pivots qui terminent ſes deux extrêmités ; les filets de cette vis , qui ſont le plus ſouvent quarrés , menent en tournant une roue verticale dont ils engrénent les dents. Cette roue porte à ſon centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever , de la même maniere qu'au treuil. *Voyez la Figure* 13.

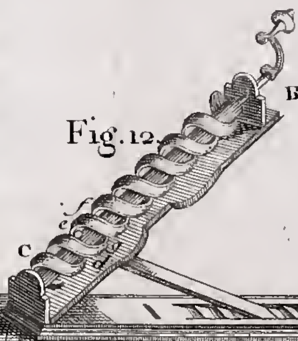
Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande réſiſtance: mais cet avantage coûte bien du temps ; car il faut que la vis faſſe un tour entier pour faire paſſer une dent de la roue , & il faut que toutes les dents paſſent , pour faire tourner une fois le rouleau ; de ſorte que ſi le nombre des dents eſt 100 , & que le diametre du rouleau ſoit de 4 pouces , pour élever la réſiſtance *P* à la hauteur d'un pied , il faut que la puiſſance *F* faſſe tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occaſions où cette lenteur eſt le principal objet qu'on ſe propoſe , comme lorſqu'il s'agit de modérer le

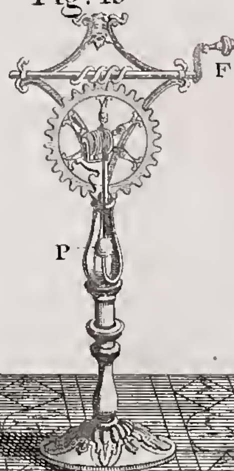

Fig. 7
t
p
q
r


Fig. 10.
b
c
a
D
E


Fig. 9.
a
k
b
m
n
l
i
c
p
r


Fig. 11


Fig. 12.
B
f
e
C
d


Fig. 13
F
P

mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître. IX. LEÇON.

Dans cette ſection, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abſtraction des frottements, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naiſſent de chaque machine conſidérée en elle-même; il eſt bon d'avertir cependant que dans l'uſage des vis & du coin, il arrive ſouvent que l'effet principal vient des frottements, & que ſi dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette eſpece de réſiſtance, il y auroit bien peu de cas où les forces oppoſées puſſent ſe comparer avec quelque juſteſſe : deux exemples juſtifieront cette remarque. Lorſqu'avec un effort équivalent à 100 livres on a chaſſé un coin entre les deux parties d'une buche entr'ouverte, la réaction ou le reſſort du bois qui s'oppoſe à l'effort de la puiſſance, ſubſiſte toujours quoiqu'on ceſſe d'agir contre; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même, quand il n'eſt point fort obtus ? c'eſt qu'il oppoſe alors à la preſſion du bois qui le ſol-

IX. LEÇON.

licite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui l'a fait entrer. Quand on a serré les deux machoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance : sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les machoires qui ont été serrées ; cependant les plus grands efforts ne le font pas ; & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

III. SECTION.

Des Cordes.

LES cordes sont des corps longs & flexibles, quelquefois simples, mais le plus souvent composés de plusieurs fibres ou fils de matiere animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être considérées comme des cordes; car quoique leur structure soit tout-à-fait différente, elles ont les qualités ef-

ſentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes uſages. IX. LEÇON.

En méchanique on emploie communément les cordes: 1° pour changer la direction du mouvement, comme lorſqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui deſcend: 2° pour tranſporter la puiſſance ou la réſiſtance dans un lieu plus avantageux ou plus commode; c'eſt par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé ſur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit preſque jamais faire mouvoir autrement: 3° pour lier, ſerrer, arrêter d'une maniere ſimple & facile toutes ſortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à ſe déſunir, ou qu'une force extérieure ſollicite à s'écarter ou à ſe déplacer.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intenſité des forces qui agiſſent contr'elles, ou contre leſquelles on les fait agir; que la corde avec laquelle on ſonne une cloche ait 15 braſſes, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le ſonneur n'en a ni plus ni moins

IX. LEÇON.

d'effort à faire ; la force d'un cheval eſt la même lorſqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde eſt plus groſſe ou plus longue, elle eſt plus peſante ; elle ſe courbe, lorſqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle eſt moins flexible ; or le poids, la courbure & la roideur des cordes ſont des réſiſtances ou des déſavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puiſſance, & ſur leſquels il eſt néceſſaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen des deux ſeaux qui montent & deſcendent alternativement, nous avons déjà obſervé que la corde, dans les temps où elle eſt plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient conſidérable, lorſque la profondeur du puits ou du ſouterrein eſt grande : on peut dire la même choſe des fardeaux que l'on traîne ; les cordes ou les chaînes dont on ſe ſert augmentent de leur propre poids la charge ſur laquelle on agit.

La réſiſtance qui vient de la peſanteur des cordes croît comme leur ſolidité

lidité ou quantité de matiere ; en les considérant comme des cylindres on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diametre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pese 30 livres, ayant un pouce de diametre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pesera 120 livres, c'est-à-dire, quatre fois autant que la premiere, parce que son diametre est double.

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistances dans l'usage des machines ; mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallelement au plan, comme *A B*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *AEB*, à cause de sa longueur & de

IX. LEÇON.

ſon poids, incline l'action de la puiſſance au plan, & l'affoiblit d'autant.

La longueur ſeule de la corde, indépendamment du poids, peut apporter quelque changement à la direction de la puiſſance; car ſi elle fait un angle avec le terrein, eu égard à l'élévation de la puiſſance, elle le fait d'autant plus grand qu'elle eſt moins longue: quoique les deux lignes *A C*, *A D*, * ne ſoient ni l'une ni l'autre paralleles au plan *F G*; cependant la premiere s'écarte davantage du parallélisme que la derniere: ainſi toutes les fois qu'une force motrice ſera appliquée à une réſiſtance, par le moyen d'une corde ou d'une chaîne, il ne faut point avoir égard à ſa direction, ou à ſa tendance naturelle, mais à celle qui eſt indiquée par la chaîne ou par la corde qui tranſmet ſon effort.

* Fig. 5.

La roideur des cordes, lorſqu'elles ont part au mouvement des machines, eſt ce qu'il y a de plus important à connoître: elle dépend principalement du poids ou de la force qui tend les cordes, de leur groſſeur, de la quantité dont on les courbe,

& de la vîteſſe avec laquelle on les fait plier. M. Amontons * eſt le premier qui ait traité méthodiquement, cette partie des méchaniques, dont on n'avoit avant lui qu'une idée confuſe. Il en a montré l'importance, en faiſant connoître que dans les cas les plus ordinaires la roideur ſeule des cordes peut augmenter d'un tiers la réſiſtance ſur laquelle on doit faire agir la force motrice; & il nous apprend d'après l'expérience, 1° Que la réſiſtance cauſée par la roideur des cordes, augmente en raiſon directe des poids ou des forces qui les tiennent tendues : 2° Que cette même réſiſtance augmente encore comme le diametre des cordes, toutes choſes égales d'ailleurs : 3° Que les cordes ſe plient plus difficilement à meſure que les cylindres ou les poulies ſur leſquels on les fait tourner, deviennent plus petits, quoique cette derniere réſiſtance n'augmente pas en raiſon directe du décroiſſement des diametres.

* Mém. de l'Acad. des Scienc. 1699. p. 217.

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui ſolide, deux cordes ſemblables, *A*, *B*, *Fig.* 2, qui pendent parallelement à 5 ou 6 pouces de diſtance l'une de l'autre, & qui ſoutiennent une tablette *C D*, ſur laquelle on poſe des poids.

Ces deux cordes font dans le même ſens chacune un tour ſur un cylindre *E F*, & au milieu on enveloppe en ſens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un baſſin de balance que l'on charge juſqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas, comme on le peut voir par la *Fig.* 3. On emploie dans ces expériences pluſieurs paires de cordes, qui ſont toutes de même matiere, & dont les diametres ſont différents, & faciles à comparer : le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie ſa groſſeur; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, ſoit toujours à la même diſtance du point *e* *, on diminue le cylindre

* *Fig.* 3.

en ſon milieu ; ou bien en évaluant l'effort du poids qui eſt ſuſpendu au ruban ou fil, on tient compte de la diſtance du point *f* au point *e*, ſi elle eſt augmentée.

IX. LEÇON.

Dans cette premiere expérience, le diametre des cordes eſt de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce; & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 20 livres, & enſuite de 40 liv.

EFFETS.

1° Lorſque les cordes ſont tendues par un poids de 20 livres, il faut que le poids *G* ſoit de 45 onces, pour commencer à faire deſcendre le cylindre : 2° Lorſque l'on tend les cordes avec un poids de 40 livres, le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

EXPLICATIONS.

Le cylindre par ſon propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à deſcendre : ſi quelque choſe le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre ; car ſans cet obſtacle, on conçoit bien qu'il tomberoit : mais cet obſtacle n'en ſeroit point un, ſi la corde avoit une

IX. LEÇON.

flexibilité parfaite, ſi elle ſe plioit ſans aucune difficulté ; car alors toutes ſes parties s'envelopperoient ſucceſſivement ſur le cylindre, & le laiſſeroient librement paſſer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas : toute la réſiſtance qui cede premiérement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui ſont tendues par le poids *C D* ; & puiſque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître augmente de 20 à 40, c'eſt une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raiſon directe des forces qui tendent les cordes ; car 45 ſont à 90, comme 20 ſont à 40.

II. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On emploie d'abord une paire de cordes, dont le diametre eſt de deux lignes ; elles ſont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diametre.

Enſuite on fait ſervir une autre paire de cordes une fois plus menues

que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tension, & que l'on fait tourner sur le même cylindre. IX. LEÇON.

EFFETS.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes; dans le second il n'en faut que 15.

EXPLICATIONS.

Quand la corde se courbe, son diametre perpendiculaire à la surface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être considéré comme un levier qui a son point d'appui au cylindre même; plus ce diametre est grand, plus la puissance ou le poids qui tend la corde, est éloigné de ce point d'appui, & par conséquent plus il résiste au poids du cylindre, ou à celui qu'il soutient en *g* *. Ou bien l'on peut considérer le diametre de la corde & celui du cylindre, comme ne faisant qu'un même levier, dont le centre du mouvement est en *e*; on voit facilement que si le bras *ef* restant le même, *e h* devient plus long, la puis- * *Fig.* 5.

ſance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui peſe en *g*. En conſidérant ainſi la roideur qui vient de la groſſeur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorſqu'on double leur diametre, il faut auſſi doubler le poids qui tend à faire deſcendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette eſpece de réſiſtance ne croît pas en raiſon de la ſolidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais ſeulement en raiſon des diametres, comme nous l'avons établi dans notre propoſition.

III. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diametre, & tendues par un poids de 60 livres, on emploie d'abord un cylindre d'un pouce, & enſuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diametre.

EFFETS.

La roideur des cordes avec le premier cylindre cede à 114 onces, & avec le ſecond à 135.

EXPLICATIONS.

Les cordes & les poids qui les tiennent tendues reſtant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diametre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre eſt plus petit, la corde eſt obligée de ſe courber davantage ; or puiſque cette courbure en général eſt un obſtacle à la deſcente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiere expérience, une plus grande courbure doit augmenter la réſiſtance. On pourroit être tenté de croire que le diametre du cylindre une fois plus petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide : mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu dans tous les cas ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114 ; comme le premier cylindre égale deux fois le ſecond, par la grandeur de ſon diametre.

APPLICATIONS.

Ce que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit ſervir de regle dans l'uſage des poulies, des

XI. LEÇON.

treuils, des cabeſtans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en ſont une partie eſſentielle; ſi l'on négligeoit de compter ſur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs conſidérables, & le mécompte ſe trouveroit principalement dans les cas où il eſt le plus important de ne ſe point tromper, je veux dire dans les grands effets; car alors les cordes ſont néceſſairement groſſes & fort tendues.

On doit donc avoir ſoin, 1° de préférer les grandes poulies aux petites, ſi la place le permet, non-ſeulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y ſouffrent une moindre courbure, & leur oppoſent par conſéquent moins de réſiſtance; cette conſidération eſt d'une ſi grande conſéquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, ſelon la regle de M. Amontons*, on voit clairement que ſi l'on vouloit enlever un fardeau de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1699. p. 227.*

800 livres avec une corde de 20 lignes de diametre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puiſſance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde; au lieu qu'avec une poulie de 2 pieds de diametre, cette eſpece de réſiſtance céderoit à un effort de 22 livres, toutes choſes égales d'ailleurs.

On peut juger delà que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit réſulter du nombre & de la diſpoſition des leviers qu'elles repréſentent; car dans ces ſortes de machines les cordes ont pluſieurs retours, & quoique les puiſſances qui les tendent, chargent d'autant moins les axes, que les poulies ſont plus nombreuſes, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité ſoit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente néceſſairement la réſiſtance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui eſt commun à toutes les moufles, eſt encore plus conſidérable dans celles où les poulies rangées les unes au-deſſus des autres, doivent être de plus en plus petites,

IX. LEÇON.

pour donner lieu à la corde de se mouvoir sans se toucher & se frotter. Car nous avons fait voir par la troisieme expérience, que la corde a plus de peine à se plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diametre : les poulies mouflées qui sont toutes de même grandeur, sont donc préférables dans les cas où la raison que nous venons d'exposer, n'est point combattue par d'autres plus fortes.

Les personnes qui sont dans l'habitude de tourner, soit au pied, soit à l'archet, savent, par leur propre expérience, combien il est nécessaire de proportionner la grosseur de la corde à celle de la piece qu'on fait tourner ; si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piece qu'on fait tourner ; cette piece ne peut le soutenir qu'autant qu'elle est forte de matiere : & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de temps qu'elle met

à s'échauffer & à s'uſer, quand elle enveloppe une partie fort menue.

Les cordes que l'on emploie dans les machines deſtinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne ſe font & ne ſe réparent qu'à grands frais : elles doivent être capables auſſi d'une grande réſiſtance, ſans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occaſionneroient des accidents fâcheux. Mais ces deux qualités ſont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent guere s'acquérir que par une groſſeur conſidérable, & par quelque préparation qui donne néceſſairement de la roideur. Les cables qu'on emploie dans les bâtiments, & mieux encore ceux qui ſervent dans la navigation, ſeroient d'un uſage bien plus avantageux & plus commode, ſi l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus flexibles, ſans leur ôter la force qui leur eſt néceſſaire, & ſans les rendre moins durables ; le choix des matieres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent ſans doute contribuer beaucoup à cet effet ; mais une

IX. LEÇON.

attention qu'on néglige un peu trop, & qu'on devroit avoir cependant, c'eſt de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à ſoutenir, de les choiſir aſſez fortes pour ne point manquer; mais de ne rien faire de ſuperflu à cet égard, parce que cette force ſurabondante ne va point ordinairement ſans une augmentation de poids, de roideur & de frais qu'il eſt toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été preſque entiérement abandonnée juſqu'ici à des ouvriers peu intelligents pour la plupart, qui n'y travaillent que par routine, & qui ſe contentent de répéter ſervilement ce que d'autres ont fait avant eux : cet objet cependant eſt d'une aſſez grande importance pour mériter l'attention des Savants, & l'on ne peut être que très-ſatisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refuſent leur temps à des ſpéculations ſublimes, aſſez ſouvent inutiles, pour le donner à des choſes qui tendent plus directement au bien-être de la ſociété. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vues que les devoirs de ſa pla-

IX. Leçon.

ce* lui ont fait naître, nous donnera un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé ſur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vu faire dans nos ports. Ce n'eſt pas ſeulement une hiſtoire ou une deſcription de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les atteliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'inſtructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet art la perfection dont il a beſoin.

* *Inſpecteur général de la Marine.*

APRÈS avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniere dont on peut eſtimer la réſiſtance qui en réſulte dans les machines, il nous reſte à dire quelque choſe de leur force & des changements dont elles ſont ſuſceptibles, lorſqu'elles deviennent alternativement ſeches & humides.

Les cordes qui ſont le plus en uſage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, ſont des aſſemblages de fibres que l'on tire des végétaux, comme le chanvre, ou du regne animal, comme la ſoie ou certains boyaux que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient aſſez longues par elles-mêmes, peut-être

IX. LEÇON.

ſe contenteroit-on de les mettre enſemble, de les lier en forme de faiſceaux ſous une enveloppe commune ; cette maniere de compoſer les cordes , eût peut-être paru la plus ſimple , & la plus propre à leur conſerver cette qualité qui eſt la plus néceſſaire , la flexibilité : mais comme toutes ces matieres n'ont qu'une longueur fort limitée , on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant , c'eſt-à-dire , en les tortillant enſemble , de maniere que les unes s'uniſſant en partie aux autres , ſont embraſſées & retenues de même par celles qui ſuivent ; le frottement qui naît de cette ſorte d'union eſt ſi conſidérable , qu'elles ſe caſſent plutôt que de gliſſer l'une ſur l'autre ſelon leur longueur : c'eſt ainſi que ſe forment les premiers fils dont l'aſſemblage fait un cordon , & de pluſieurs de ces cordons réunis & tortillés enſemble on compoſe les plus groſſes cordes.

On juge aiſément que la qualité des matieres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien auſſi qu'un plus grand nombre de cordons également gros , doit faire une

une corde plus difficile à rompre, comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande résistance : mais quelle est la maniere la plus avantageuse d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coutume de lier ces assemblages, donne-t-il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, si les parties qui les composent étoient seulement réunies en forme de faisceaux ? c'est ce qui ne s'apperçoit pas aussi facilement ; si l'on en croyoit le préjugé, il semble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties composantes, & que la force du composé semble dépendre de cette union.

Il y a même des raisons spécieuses qui ont porté plusieurs Savants à juger comme le vulgaire à cet égard : on sait en général que la force d'un corps dépend de sa solidité, de sa grosseur : le tortillement rend une corde plus grosse qu'elle ne le seroit, si ses fils ou cordons n'étoient qu'assemblés à côté les uns des autres ; car c'est un fait cer-

IX. LEÇON. tain, qu'en tortillant ensemble cinq ou six fils, on rend cet assemblage plus court & plus gros ; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur, devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent ; & comme l'effort d'une corde se fait sur la longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent ils en sont plus en état de résister ; car une action oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniere bien décisive, par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur *, où cette matiere paroît avoir été traitée pour la premiere fois, &

* *Mém. de l'Ac. des Sc. 1711 p. 6.*

d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible ; on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force en y suspendant des poids connus jusqu'à ce qu'ils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser, on en tortille ensemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour savoir combien elle est en état d'en soutenir. Voyez la *Figure* 4.

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce soit, ne portent jamais un poids qui égale la somme de ceux qu'ils portoient séparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, em-

IX. LEÇON.

ployé simple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront sans doute la somme de 12 livres; mais il faut pour cet effet que l'effort soit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la somme totale, c'est-à-dire 6 livres.

Pour faire mieux sentir la nécessité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F* *, soient joints ensemble, & de maniere que de cette somme de 12 livres, les deux tiers portent sur le fil *D*, & l'autre tiers sur *C*: le premier de ces fils cassera d'abord, parce que, suivant notre supposition, il ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais aussi-tôt qu'il sera rompu par cet effort excessif, l'autre se rompra aussi, parce qu'il se trouvera chargé seul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainsi quoique chacun de ces fils puisse résister à un effort de 6 livres, l'un & l'autre ensemble ne peuvent soutenir 12 livres, à moins qu'ils ne

* Fig. 4.

foient également chargés. Mais lorfque les deux fils font tortillés enfemble, il arrive infailliblement que l'un des deux l'eft plus que l'autre, & que l'effort du poids eft inégalement partagé entr'eux; delà il arrive qu'ils ne peuvent jamais foutenir enfemble les 12 livres qu'ils auroient porté féparément. IX. LEÇON.

Une autre raifon de cet effet, c'eft qu'en tortillant ainfi les fils, on les tend; & cette tenfion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent foutenir. Ils ne font donc plus en état de réfifter autant qu'ils auroient pu faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

Les cables & autres gros cordages qu'on emploie, foit fur les vaiffeaux, foit dans les bâtiments, étant toujours compofés de plufieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis enfemble, comme ceux de notre derniere expérience, il eft évident qu'on n'en doit point attendre toute la réfiftance dont ils

IX. LEÇON.

ſeroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement; & cette conſidération eſt d'autant plus importante que de cette réſiſtance dépend ſouvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

Mais ſi le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'eſt une attention qu'on doit faire valoir, ſur-tout dans les fabriques établies pour le ſervice de la marine, de ne tordre qu'autant qu'il eſt néceſſaire pour lier les parties par un frottement ſuffiſant. Il ſeroit bien à ſouhaiter qu'on eût ſur cela une regle à preſcrire aux ouvriers, & qu'on pût compter ſur leur docilité, & ſur leurs ſoins pour l'obſerver.

Lorſqu'on a quelque grand effort à faire avec pluſieurs cordes en même temps, ce qui empêche aſſez ſouvent de réuſſir, c'eſt qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles caſſent les unes après les autres, par les raiſons que nous avons dites ci-

deſſus, & mettent en riſque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'eſt pas toujours auſſi facile qu'il eſt néceſſaire à obtenir ; c'eſt un de ces cas aſſez ordinaires en méchanique, où le ſuccès dépend preſque autant de l'adreſſe & de l'intelligence de celui qui opere, que des forces qu'il fait agir.

QUANT aux changements qui peuvent arriver aux cordes, par la ſéchereſſe ou par l'humidité, ils dépendent principalement de la matiere & de la façon dont elles ſont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui ſont de quelque importance dans l'uſage des machines.

Toutes les cordes qui ſont compoſées de pluſieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés enſemble, ſe gonflent & deviennent plus groſſes lorſque l'eau les pénetre ; & au contraire à meſure qu'elles ſe ſechent, elles diminuent un peu de groſſeur ; mais en devenant plus groſſes, elles perdent une partie de leur

IX. LEÇON. longueur, & elles se détordent un peu ; ce sont deux faits connus depuis long-temps, & que j'ai souvent constatés par l'expérience suivante.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

J'attache au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c aux bouts desquelles je suspends des poids *H*, *K*, *Fig.* 5, assez forts seulement pour les tenir tendues, & qui finissent en pointe au-dessus & fort près de la tablette *IL*; au bout de chacune des cordes, immédiatement au-dessus du poids, je place un petit index de carton, *g*, ou *h*, qui fait un angle droit avec la corde, que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

EFFETS.

On remarque premiérement, que les cordes s'accourcissent, parce que les

les poids, qui les tiennent tendues, s'élevent un peu au-dessus de la tablette : deuxiémement, qu'elles se détordent par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans tous les corps poreux ; elle en écarte les parties, & par cette raison la corde mouillée devient plus grosse. Mais les parties d'une corde sont des fibres qui se croisent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, sans former un ventre, & sans que les extrêmités se rapprochent ; delà vient le raccourcissement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interstices qui sont entre les fibres, dilatent aussi ceux qui se trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torse.

Ce qu'il y a de plus remarquable,

c'est que ces effets ont lieu, nonobstant les poids qui tiennent les cordes tendues, & ces poids peuvent être assez considérables ; c'est un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées sont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui est assez curieuse par elle-même, & que je vais rapporter, apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde, peut la rendre plus courte en la grossissant, quoiqu'une puissance considérable s'oppose à cet effet.

VI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A, *B*, *C*, *Fig.* 6, sont des vessies qui communiquent ensemble par des petits bouts de tuyaux qui servent à les joindre : *D* est un poids de 30 liv. qui repose sur le pied de la machine, quand les vessies sont vuides.



EFFETS.

Quand on souffle de l'air dans les vessies par le tuyau qu'on voit en *E*, elles s'enflent, & le poids s'éleve de plusieurs pouces.

EXPLICATIONS.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate ; mais les parois *AA*, *BB*, *CC*, ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrêmités de chaque vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever.

Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies ; l'orifice du canal *Ee*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface : s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre

pour introduire l'air en soufflant, n'est
IX. LEÇON. donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

* Fig. 6. Les côtés *bAb*, *cAc*, * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes ; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire de grands efforts.

APPLICATIONS.

Ce qui arrive aux cordes que l'on mouille, se fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit considérer comme de petites cordes, soit qu'on les emploie simples, soit qu'on en forme des tissus. C'est pourquoi les toiles neuves se raccourcissent au premier blanchissage ; & généralement on voit toutes les étoffes se retirer lorsqu'on les mouille : celles qui sont fabriquées avec deux sortes de fils placés en différents sens, se retirent inégalement, & font prendre une mauvaise forme aux ouvrages auxquels on les fait servir. Les bas & les gants tricotés ne se mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorsqu'ils

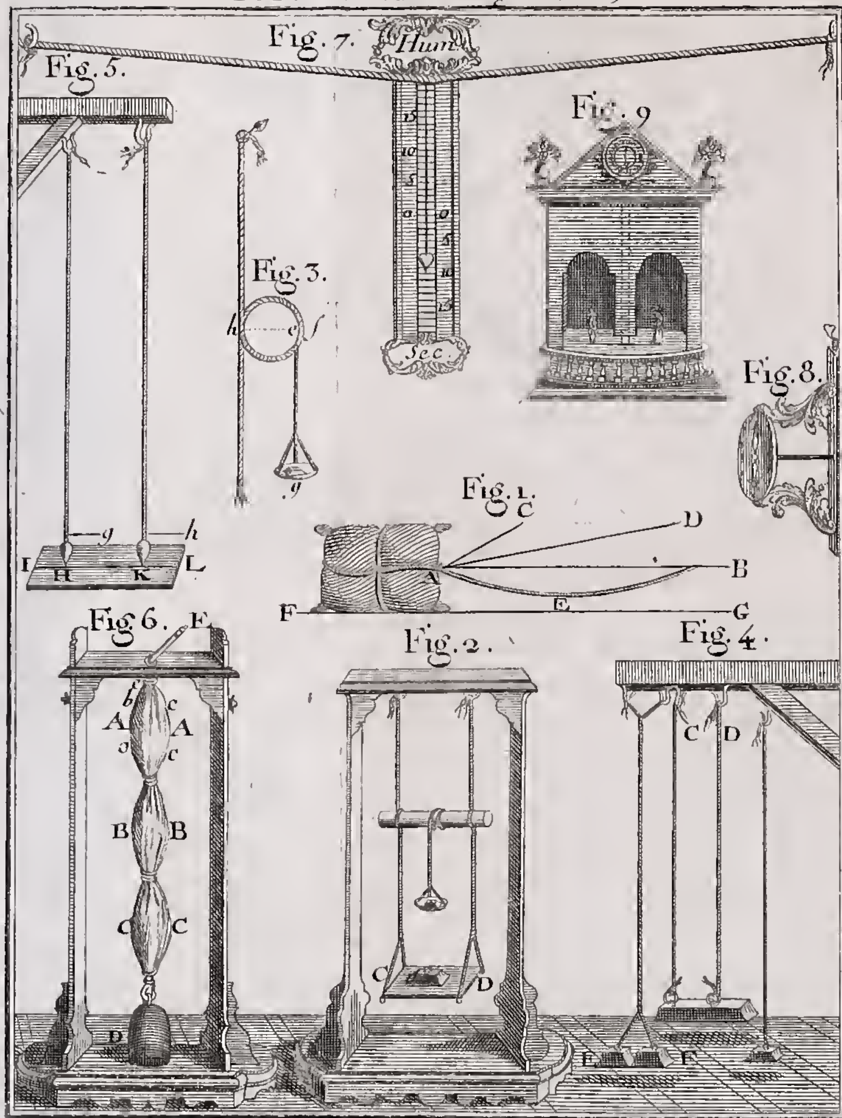
ſont humides; cette difficulté ne vient que du rétréciſſement cauſé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils; ſans cela, l'interpoſition du fluide ne ſerviroit qu'à les faire gliſſer plus aiſément ſur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand ſecours en certains cas: on dit (& c'eſt une tradition aſſez reçue,) qu'en élevant un obéliſque à Rome, ſous le Pontificat de Sixte V, l'entrepreneur ſe trouvant embarraſſé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria: *mouillez les cordes*; & que cet expédient ayant été tenté, réuſſit parfaitement. Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curioſité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586 juſqu'à la fin de 1588, pour relever quatre anciens obéliſques qui étoient enſevelis ſous des ruines; ſavoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Egliſe de ſaint Pierre; un autre qui avoit ſervi au mauſolée d'Auguſte, & qui

IX. LEÇON.

fut placé devant l'Eglise de S. Roch; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un est aujourd'hui devant saint Jean de Latran, & l'autre devant sainte Marie-du-Peuple : dans toutes mes recherches, je n'ai pas vu un mot des cordes mouillées : je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été omise dans ces descriptions, qui sont, à tous égards, très-circonstanciées : je croirois donc volontiers que le fait est apocryphe ; mais sa possibilité n'est contestée de personne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-dessus.

Il est à propos d'observer ici que les cordes mouillées ne peuvent vaincre de grandes résistances en se raccourcissant, qu'autant qu'elles sont faites de matieres peu susceptibles d'alongement par elles-mêmes, telles que sont les fibres des végétaux ou la soie : si l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à se raccourcir par les raisons que nous avons dites, cependant on les alon-


Fig. 7.
Hum.
Sec.
Fig. 5.
Fig. 3.
Fig. 9
Fig. 8.
Fig. 1.
Fig. 6.
Fig. 2.
Fig. 4.

geroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les composent sont extensibles en toutes sortes de sens, & elles le sont d'autant plus alors que l'humidité en les pénétrant, augmente leur souplesse. IX. LEÇON.

Comme l'humidité & la sécheresse ont des effets sensibles sur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'athmosphere à cet égard; ces instruments qu'on nomme *Hygrometres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, consistent principalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'alongeant & en se raccourcissant, ou bien en se tordant & se détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus simple de tous se fait avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une situation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'exposé à l'air libre; on attache au milieu un fil de laiton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui sert d'index, & qui marque sur une échelle divisée

IX. LEÇON. en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la sécheresse en descendant. *Voyez la Fig.* 7.

Assez souvent on fait des hygrometres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque chose de solide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverse qui tourne à mesure que la corde se tord ou se détord, & qui marque, comme une aiguille, sur la circonférence d'un cadran, les degrés de sécheresse & d'humidité, *Fig.* 8; ou bien on place sur les extrêmités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le mouvement de la corde fait sortir lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Fig.* 9.

Les hygrometres que l'on fait de cette façon ou d'une maniere équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystere, ne sont bons

que pour amuſer les enfants ; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel eſt l'état actuel de l'athmoſphere, par rapport à l'humidité & à la ſéchereſſe, parce qu'on les garde dans des appartements fermés, & que la corde, qui en eſt l'ame, eſt contenue comme dans un étui, où l'air ne ſe renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces inſtruments n'apprend preſque rien autre choſe, ſinon que la corde eſt mouillée, ou qu'elle eſt ſeche : car, 1° l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en ſort que peu-à-peu, & ſelon l'expoſition du lieu, le calme ou le vent qui regne ; & bien ſouvent il arrive que l'athmoſphere a déjà perdu une grande partie de ſon humidité, avant que la corde en puiſſe donner aucun ſigne. 2° Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrometre à corde, c'eſt qu'il faſſe connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaiſon au jour précédent ; & l'on fait cela par tant d'autres ſignes, qu'il eſt aſſez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de ſavoir, c'eſt de com-

IX. LEÇON.

bien l'humidité ou la ſéchereſſe augmente ou diminue d'un temps à l'autre, & de pouvoir rendre ces ſortes d'inſtruments comparables ; ſans cet avantage, que les hygrometres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent guere qu'on les compte au nombre des inſtruments météorologiques.



X. LEÇON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

X. LEÇON.

IL eſt peu de matieres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſants qui le reſpirent : ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux différents états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changements dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influences de l'air que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages : c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribue les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

X. LEÇON.

terre. L'air agité eſt, pour ainſi dire, l'ame de la navigation : par le moyen du vent, des vaiſſeaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, paſſent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui ſembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la diſtance des lieux. Le ſon, la voix, la parole même ne ſont qu'un air frappé, un ſouffle modifié, qui devient le véhicule de nos penſées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les paſſions. (*a*) Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'eſprit qui eſt capable de les admirer, ne peut être inſenſible au plaiſir d'en connoître les cauſes.

En quelqu'endroit qu'on ſe transporte ſur la terre, ſoit qu'on change de climat, ſoit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes, on ſe trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun temps où ce fluide ait

(*a*) *Ipſe aer nobiſcum videt, nobiſcum audit, nobiſcum ſonat : nihil enim eorum ſine eo fieri poteſt.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

manqué : cette conſidération nous autoriſe à croire que le globe que nous habitons eſt entouré d'air de toutes parts : & cette eſpece d'enveloppe que l'on nomme communément l'*athmoſphere*, a des fonctions ſi marquées, elle a tant de part au méchaniſme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

En qualité d'athmoſphere terreſtre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorſqu'on n'en conſidere qu'une petite portion, & que l'on fait abſtraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger. Comme ces propriétés ne ſont, pour ainſi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procedent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de ſa quantité, de la figure de ſa maſſe, de ſon mêlange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il eſt à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

IL est presqu'inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfants qui n'ont point encore fait usage de leur raison, ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes, il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps, l'étendue, la divisibilité, la résistance, &c. Tout le monde sait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau, c'est une expression autorisée par l'usage, mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air est une matiere. Ceux d'entr'eux qui

l'ont qualifié *d'esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes ; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit* : il signifie également un souffle, un air agité ; & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience : l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre ; & lorsque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mêlange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop divisées pour reprendre leur premiere

* *Otto de Guerike, exper. nov. Magdeb. lib.* 2. *c.* 1. *& lib.* 4. *c.* 1.

X. LEÇON.

Boyle, Exper. Phys. Mech. édit. de Geneve. 1677. p. 69.

s'Gravesande, Physices Elemen. Mat. p. 36. edit. 1742.

forme, demeurent ſous celle d'un fluide particulier qu'elles compoſent; mais outre que cette opinion n'eſt appuyée ſur aucune preuve, l'air a des propriétés conſtantes, des caracteres inaltérables par leſquels il ſe fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier ſelon les circonſtances du temps & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendiſſent de la décompoſition de pluſieurs matieres & de l'aſſemblage de tant d'extraits. Il eſt donc plus naturel de penſer que l'air eſt une eſpece de ſubſtance particuliere, dont la nature eſt fixe, que ſes parties intégrantes ſont homogenes, ou que ſes principes ſont unis de tout temps, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décompoſer.

La fluidité de l'air eſt telle qu'on ne la voit jamais ceſſer, tant que ſes parties ſe touchent, & que leur contiguité n'eſt point interrompue par une trop grande quantité de matiere étrangere. Nous voyons communément des liqueurs ſe glacer par le froid; certains fluides comprimés ou condenſés ceſſent de couler, & ſe fixent

ſous

sous la figure qu'on leur fait prendre : mais dans quelque climat & dans quelque saison que ce soit, on ne voit jamais aucune partie de l'athmosphere devenir solide ; & la compression la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pu durcir ou fixer l'air. La fluidité est-elle donc de son essence ? est-il absolument impossible qu'il la perde ? c'est ce que l'on ne voit pas ; mais aussi ce seroit une témérité d'avancer le contraire, sans en apporter des preuves.

X. LEÇON.

Cette fluidité si constante de l'air viendroit-elle de la seule subtilité de ses parties, comme l'a pensé un savant Chymiste * ? c'est ce que l'on ne présumera pas, si l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui cessent d'être fluides par un grand froid, passent au travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer * ; car si la ténuité des parties étoit capable d'entretenir constamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas se glacer plus que l'air, ou l'air qui ne se glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le sont celles de l'eau. Or c'est un fait constaté par

* *Boerhaave, Chemia, tom. 1. p. 320.*

* *Boyle, nov. Exper. Phys. Mech. ed. Gen. p. 108.*

X. LEÇON.

M. de Reaumur *, que l'air ne paſſe point au travers du papier mouillé, & de quelques autres matieres qui ſont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il réſulte que les parties de l'air ſont plus groſſieres ou moins ſubtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compenſe la ténuité des autres.

* Mém. de l'Académie des Sc. 1714. p. 59.

Il eſt aſſez vraiſemblable que l'air demeure conſtamment fluide, parce qu'il eſt parfaitement élaſtique : s'il n'étoit que compreſſible, ſes parties rapprochées pourroient peut-être ſe toucher d'aſſez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à ſortir de cet état, comme la neige preſſée entre les mains prend la figure & la conſiſtance d'une boule ſolide : mais le reſſort qu'elles ont, tend toujours à raréfier la maſſe qu'elles compoſent, parce que la plus forte compreſſion ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conſervent cette mobilité reſpective en quoi conſiſte la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits filaments contournés en forme de ſpi-

res flexibles & élaſtiques, & leur aſſemblage à-peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorſqu'on le preſſe, mais qui tend toujours à ſe remettre dans ſon premier état. Cette idée n'eſt qu'une eſquiſſe bien groſſiere de la nature de l'air ; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue ; parce que pour les ſuppoſer telles, je n'ai d'autre raiſon que leur flexibilité & leur reſſort, & qu'elles peuvent être élaſtiques avec cent figures différentes d'un filet ſpiral : auſſi lorſque j'adopte cette hypotheſe avec la plupart des Phyſiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles ſont, mais ſeulement ce qu'elles peuvent être ; & c'eſt moins pour prendre un parti ſur leur figure que pour être en état de faire mieux connoître le reſſort admirable du fluide qu'elles compoſent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

On dit communément que l'air eſt ſec ; mais pourquoi lui attribue-t-on

X. LEÇON.

cette qualité ? eſt-ce parce qu'il enleve de la ſurface des corps l'humidité qui s'y trouve ? En effet, il arrive aſſez ſouvent qu'il fait l'office d'une éponge ; mais auſſi dans pluſieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuſes dont il eſt toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matieres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même : on expoſe du linge à l'air pour le faire ſécher ; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du ſel de tartre ou de quelqu'autre ſel ; c'eſt pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer ſe ſechent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules ſalines qui tiennent à la ſuperficie.

Dira-t-on que l'air eſt ſec, parce qu'il ne mouille pas comme les liqueurs ? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller* : s'il ſignifie adhérer à la ſurface des corps ſolides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au moins un grand nombre de matie-

res : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un vaſe quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barometre qui n'a point été rempli au feu, c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si mouiller ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi, & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'impreſſion qu'il a coutume de faire ſur

X. LEÇON.

notre peau nous eſt plus familiere : ſa façon de mouiller eſt différente, ſans doute, de celle des liqueurs, comme celles-ci mouillent auſſi différemment les unes des autres ; l'eſprit-de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'eſt-à-dire que leur application ſur la peau excite des ſenſations différentes.

DÈS que l'on ſait par un nombre infini d'obſervations familieres, que l'air eſt matériel, que ſes parties réunies forment une maſſe réſiſtante, mobile & capable de mouvoir d'autres corps, il eſt preſque ſuperflu d'examiner s'il eſt peſant : car quoique la peſanteur ne ſoit pas un attribut eſſentiel à la matiere, & qu'on puiſſe bien la concevoir ſans cette tendance au centre de la terre, cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autoriſe à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons préſumer qu'il y eſt aſſujetti comme les autres corps ſublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune raiſon pour attribuer à l'air une légéreté

absolue, des faits sans nombre nous forcent à reconnoître son poids : nous en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique ; en voici d'autres qui le prouvent directement.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Figure* 1 représente une de ces pompes que l'on nomme communément *Machines pneumatiques* : quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air, cependant, par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*, c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ratisbonne l'an 1654. Quelques années

X. LEÇON.

après, Boyle en fit construire une à peu près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vue le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément *le vuide de Boyle.* M. Homberg, touché des progrès qu'avoit fait la physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Savants, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie Royale des Siences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 60 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi, parmi les instruments qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût être d'un service plus sûr, plus commode

mode & plus étendue qu'elle n'avoit été précédemment : on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie, pour les années 1740 & 1741, les changements & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales; savoir : 1° d'un corps de pompe de cuivre *A* : 2° d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main : 3° d'un robinet dont on voit la clef en *D* : 4° d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E* : 5° d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté : 6° d'un rouet *IKL*, avec lequel on

X. LEÇON.

peut tranſmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un ſeul coup, il faut qu'on puiſſe remonter le piſton ſans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a paſſé dans le corps de la pompe : pour cet effet la clef du robinet eſt percée de façon qu'en lui faiſant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piſton, en ſe relevant, pouſſe l'air du dedans au dehors de la pompe, & l'on ferme en même temps tout accès du côté du récipient : enſuite en remettant la clef dans la premiere ſituation, on eſt en état de donner un nouveau coup de piſton.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître ; c'eſt pourquoi je differe d'en parler juſqu'à ce que j'aie donné une idée aſſez étendue de ce fluide ſur lequel elle agit.

La *Fig.* 2 eſt un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Paris : le col eſt garni d'une virole de cui-

vre, & d'un robinet qui s'ajuſte à une vis qui excede de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de ſorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état.

La *Fig.* 3 eſt une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide ; & pour conſerver au fléau une plus grande mobilité par la diminution des frottements de ſon axe, on peut peſer le ballon dans l'eau ; ce qu'il eſt aiſé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à ſe plonger entiérement : alors la balance n'eſt chargée que de la peſanteur reſpective du ballon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitieme Leçon, par les expériences qui prouvent la ſeconde propoſition.

EFFETS.

Lorſqu'on ouvre le robinet du ballon ſuſpendu, pour y laiſſer rentrer l'air, & qu'on le referme enſuite pour le laiſſer ſe plonger, ſans que l'eau y puiſſe entrer, il ſe trouve toujours

X. LEÇON.

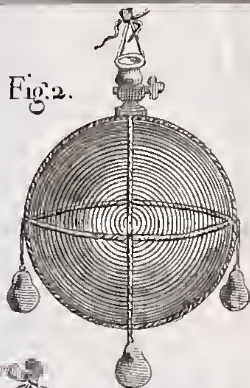
plus peſant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

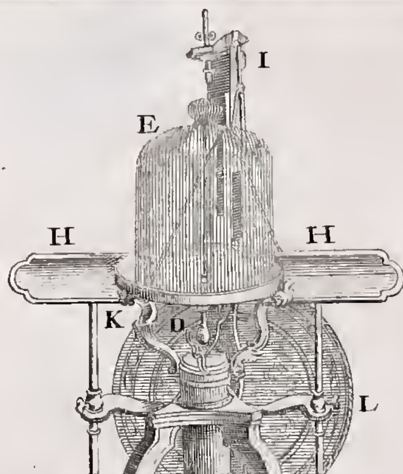
EXPLICATIONS.

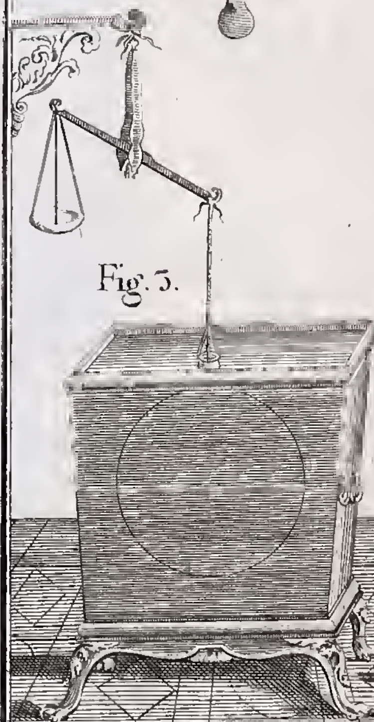
Cette expérience eſt la plus ſimple & la plus déciſive de toutes celles qu'on emploie pour prouver que l'air a une peſanteur abſolue; car on ſait que dans l'uſage de la balance ordinaire, un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids; puiſque le ballon devient plus peſant dès qu'il s'emplit d'air, c'eſt une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en ſe rempliſſant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuſes dont il eſt toujours chargé, & qui s'introduiſent avec lui.

Quoique cette objection au premier coup d'œil ait tout l'air d'une mauvaiſe difficulté, & qu'elle n'ait arrêté preſque perſonne de ceux qui ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant diſ-


Fig. 2.


I
E
H
H
K
D
L
Fig. 1.
A
F
G
C
B


Fig. 3.

ſimuler qu'elle m'a paru forte, ſur-tout lorſque j'ai vu, par des épreuves faites en différents temps, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'athmoſphere, contenoit toujours aſſez d'eau pour rendre une once de ſel de tartre ſenſiblement humide & plus peſante ; car ſi l'on joint au poids de cette eau celui des autres matieres qui ſont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air, & que le ſel de tartre n'a point abſorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la peſanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

Cette conſidération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne peſer vers aucun point déterminé de l'Univers : je ne me ſuis point arrêté à cette conjecture ; & bien loin de céder à la difficulté, je me ſuis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemia, t. 1. p. 267.*

Je ſuſpends le ballon plein d'air à la balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : en-

X. LEÇON.

ſuite, ſans le changer de ſituation; j'applique au robinet un ſiphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide; à meſure que je raréfie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il eſt chargé, & qui ne ſont point de nature à ſe raréfier comme lui & à le ſuivre; de cette maniere je fais reſter dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit ſoupçonner qu'il doit tout ſon poids, & je ſuis comme certain que ce qui ſort du vaiſſeau eſt de l'air pur; cependant lorſque j'ai fermé le robinet, & que j'eſſaie de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de choſes près, d'autant plus léger qu'il étoit plus peſant dans la premiere expérience : d'où il ſuit inconteſtablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaiſons avec leſquelles il ſe trouve mêlé, augmente le poids d'un vaiſſeau qu'il remplit.

APPLICATIONS.

Par le moyen des expériences que

je viens de rapporter, non-seulement on peut s'assurer de la pesanteur absolue de l'air, mais on peut connoître aussi quelle est sa pesanteur spécifique, en comparant un volume d'air connu dont on sait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiere que l'on pese séparément : un exemple rendra ceci plus intelligible.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, si je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoute ensuite de son côté pour rétablir l'équilibre, est justement celui de l'air qui en est sorti. Je renverse aussi-tôt le ballon dans l'eau, de maniere que l'orifice regarde le fond du vaisseau, & j'ouvre le robinet; alors le poids de l'athmosphere pousse dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet, je remets le ballon dans sa premiere situation, & je charge le bassin de la balance jusqu'à ce que tout soit en équilibre; le poids que je suis obligé d'y mettre, est celui du volume d'eau qui est entré

dans le ballon : ainsi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainsi, M. Hauxbée a trouvé que la pesanteur spécifique de l'air est à celle de l'eau, à-peu-près comme 1 est à 885.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaison du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance : cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de soins ; & quelques précautions que l'on prenne, il reste toujours de l'incertitude dans le résultat.

La difficulté vient, 1° de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps se dilatent par la chaleur, & se condensent par le froid, de sorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de juin n'ont pas la même densité qu'au mois de janvier : cet inconvénient ne seroit pas d'une si grande conséquence si ces matieres, en se dilatant ou en se condensant, gardoient toujours entr'elles le même rapport ; mais il s'en faut bien

que cela ſoit, & ce n'eſt point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent ſelon leurs différentes températures.

2° Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, auſſi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque choſe d'étranger; & quoi qu'en diſent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui, au même degré de chaud & de froid, different ſenſiblement de peſanteur entr'elles. Or s'il eſt néceſſaire de ſavoir quelle eau ou quel air on a peſé, pour conclure avec préciſion le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à-peu-près.

3° Les variations du barometre nous apprennent que la preſſion de l'athmoſphere n'eſt pas toujours la même; & nous verrons bientôt que l'air change de denſité ſelon qu'il eſt plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air meſuré par la capacité du ballon, ſoit plus peſant dans un temps que dans un autre; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a omis ni la hauteur actuelle du mer-

X. LEÇON.

cure dans le barometre (*a*), ni la saison dans laquelle il a operé ; au lieu de citer seulement le mois (*b*), il auroit sans doute désigné la température par le degré du thermometre, s'il y en avoit eu alors de comparables comme à présent.

4° Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre justement autant d'eau qu'il en est sorti d'air, sans quoi ce ne seroit plus comparer ensemble deux volumes égaux. Mais on sait que quand une liqueur se trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage & s'éleve au-dessus : c'est le cas où se trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon ; elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent ; & cet air occupant la partie supérieure du vaisseau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eu égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir

(*a*) 29 p. $\frac{1}{2}$, mesure d'Angleterre, c'est-à-dire un peu moins que 28 pouces de France.

(*b*) Mai.

bien purgé d'air l'eau dont on veut se ſervir dans cette expérience ; & c'eſt ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait juſqu'à préſent ; d'où il ſuit que l'on a conclu la peſanteur ſpécifique de l'air un peu plus grande qu'elle n'eſt en effet.

On ne doit donc pas être ſurpris de trouver ſi peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces ſortes d'expériences, ſur-tout dans des temps où les procédés étoient d'autant plus difficiles qu'on étoit moins inſtruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Merſene comme 1 à 1346 : quelle différence ? de tous les Phyſiciens qui ont cherché depuis à réſoudre cette queſtion, perſonne n'a trouvé l'air auſſi peſant qu'il le ſeroit ſuivant le premier de ces réſultats, ni auſſi léger qu'il paroît l'être par le dernier (*a*) : & ſi l'on prend un milieu entr'eux,

(*a*) Boyle dans ſes Expér. Phyſico-méch. conclut que l'eau commune eſt 938 fois plus peſante que l'air : & dans d'autres endroits, il varie ſur cette eſtimation. M. Homberg,

X. LEÇON.

il paroît aſſez conſtant que l'eau de pluie eſt environ 900 fois plus peſante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-deſſus du terme de la glace, le barometre étant à 28 pouces.

Comme les volumes ſont en raiſon réciproque des peſanteurs ſpécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une denſité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui peſe environ 70 livres; d'où il ſuit que la peſanteur abſolue d'un pied cube d'air, eſt à-peu-près une once & deux gros (*a*).

La peſanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être ſurpris de ſentir la main s'attacher ſur un petit récipient ouvert par le haut, lorſqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique: car tant

comme il paroît par l'hiſt. de l'Ac. des Sciences, après avoir auſſi changé pluſieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau, comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860, M. Hauxbée comme 1 à 885; M. Muſchenbrock comme 1 à 681.

(*a*) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air peſe une once 27 grains.

que le vaſe eſt plein d'un air auſſi denſe que celui de l'athmoſphere, la main ſe trouve appuyée non-ſeulement ſur les bords, mais encore ſur la maſſe du fluide qui eſt renfermé, & qui réſiſte à la preſſion extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours preſſée par l'air du dehors, ne ſe trouve plus ſoutenue que par les bords du récipient ; & pour l'en ſéparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de ſoulever la colonne d'air qui peſe deſſus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour baſe le plan qui eſt terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vu par la fameuſe expérience de Toricelli. *

* 7. *Leçon, p.* 295.

Il ſuit de-là que cette preſſion eſt d'autant plus grande & plus ſenſible, que le récipient a plus d'ouverture par en-haut ; c'eſt pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorſqu'on le poſe ſur le trou même qui eſt au centre de la platine ; & par la même raiſon, une clef forée que l'on ſuce & qui s'attache enſuite à la langue ou à la levre, s'en

détache d'autant plus difficilement que le canal eſt plus gros.

X. LEÇON.

Quand on fait ainſi le vuide ſous la main, ou ſous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir ſoin que les bords du récipient ne ſoient pas trop aigus ; car ils pourroient bien entamer la peau : on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet ; au premier coup de piſton, il arrive preſque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vaſe avec impétuoſité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la preſſion de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie : je ne parle point de la ventouſe qui eſt ſi connue, & dont l'uſage eſt maintenant aſſez négligé en France ; mais n'y auroit-il pas des occaſions où l'on auroit beſoin de ſaiſir, pour un peu de temps, une partie délicate, qui, par ſa figure, par ſon volume, ou par ſa molleſſe, ne donne point de priſe aux tenetes & autres inſtruments ? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dimen-

ſions, & garni de telle maniere qu'on le jugeroit àpropos pour l'opération, deviendroit un moyen ſûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent; c'eſt aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

Il ſemble d'abord que cette preſſion extérieure de l'air, qui vient de ſon poids, devroit écraſer les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide; mais pour peu qu'on y faſſe attention, on verra que ces vaiſſeaux étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voute, ſont à l'abri de cet accident: comme la ſurface extérieure eſt néceſſairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui compoſent l'épaiſſeur, reſſemblent à celles dont on fait les cintres; ce ſont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui ſe ſoutiennent mutuellement, à meſure qu'elles ſont preſſées vers un axe ou un centre commun, par l'action d'un fluide qui peſe en tout ſens. On peut voir par la *Fig.* 4, l'épaiſſeur d'un récipient coupé ſe-

X. LEÇON.

lon son axe, & par la *Fig.* 5, le même vaisseau coupé parallelement à sa base.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaisseaux contre le poids de l'air, lorsqu'ils en sont vuides, c'est qu'ils se cassent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui est représenté par la *Fig.* 6, il est ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient sur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainsi, on étend & on lie dessus un morceau de vessie mouillée qui lui sert de fond, & qu'on laisse sécher ; à mesure qu'on fait agir la pompe dessous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette vessie tendue la forme d'une calotte renversée, & enfin elle creve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poseroit en la place de cette vessie, se briseroit de même, s'il étoit exactement appliqué sur les bords du vaisseau, par le moyen d'un cuir interposé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui sont fort applaties,

ties, & ordinairement couvertes d'osier, crevent aſſez ſouvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la ſuccion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'athmoſphere agiſſant ſur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & briſe le vaiſſeau. X. Leçon.

Ces ſortes d'épreuves, & ſur-tout celle de la veſſie, cauſent toujours quelque étonnement aux perſonnes qui les voient pour la premiere fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vîteſſe (a) & tout à la fois en grand volume, dans un vaiſſeau vuide dont il frappe les parois : car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la ſuite; & les fluides ſont très-capables de heurter les ſolides.

On remarque quelque choſe de ſemblable, lorſqu'on tire bruſquement le couvercle d'un étui à cure-

(a) Selon M. Papin, l'air de l'athmoſphere, en rentrant dans le vuide, va avec une vîteſſe qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une ſeconde. *Abrég. de Lowtorps*, T. 1. p. 586.

X. LEÇON.

dents, d'une écritoire de poche, ou le piſton hors d'une ſeringue qui eſt bouchée par l'autre bout; c'eſt qu'alors on fait une ſorte de vuide que l'air du dehors ſe hâte de remplir, dès que l'accès lui eſt libre: car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *A B*, *Fig.* 7, s'augmente de la quantité *B C*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare; puiſqu'au lieu d'être contenu entre *A B*, comme il l'étoit dans ſon état naturel, il s'étend juſques en *C*: mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle maniere l'air ſe raréfie, lorſqu'on fait uſage de la machine pneumatique.

La denſité de l'air, d'où dépend ſa peſanteur ſpécifique, n'eſt point conſtante, elle varie beaucoup, non-ſeulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matieres, mais auſſi par une compreſſion plus ou moins grande à la maniere des corps à reſſort. Je dis à la maniere des corps à reſſort, parce que pendant tout le temps que l'air eſt comprimé, il conſerve conſtamment la faculté de s'étendre & d'occuper

un plus grand eſpace, auſſi-tôt que l'on fait ceſſer les cauſes qui reſſerrent ſon volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matieres perdent leur élaſticité en tout ou en partie, quand elles ſont trop fortement ou trop long-temps comprimées, au lieu que l'air ſe rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a juſqu'à préſent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air ſe comprime lui-même par ſon propre poids, de ſorte que celui que nous reſpirons dans la plaine, eſt plus denſe que celui qu'on trouve ſur une montagne; parce que celui-ci eſt chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniere que l'air ſoit comprimé, ſon reſſort fait toujours équilibre à la puiſſance qui reſtreint ſon volume, de maniere que

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 15 ans de l'air comprimé dans une canne à vent, & après cet eſpace de temps, l'air a montré, dit-il, autant de force qu'il a coutume d'en avoir en pareil cas.

X. LEÇON.

ſi ſa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élaſtique, tout ce qu'auroit pu faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences ſuivantes ſerviront d'éclairciſſement & de preuves à ces propoſitions.

II. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

EFG, *Fig.* 8, eſt un tuyau de verre recourbé en forme de ſiphon, dont la plus longue branche a environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diametre, & la partie *d G* doit être parfaitement cylindrique ; il eſt ouvert en *E*, & fermé en *G* ; & il eſt attaché ſolidement ſur une planche aſſez épaiſſe pour ne point plier facilement, & diviſée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet inſtrument étant debout, on y fait couler un peu de mercure, de maniere que le coude en ſoit rempli : on continue enſuite de verſer du mercure dans la branche la plus longue ; & à me-

ſure qu'elle s'emplit, on obſerve, par les graduations qui ſont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

EFFETS.

Lorſque le mercure eſt élevé de 4 pouces au-deſſus du point *d*, dans la plus courte branche, à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verſer du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part; & 9 pouces à 84.

EXPLICATIONS.

Avant que de faire couler du mercure dans l'inſtrument, toute ſa capacité eſt remplie d'un air qui eſt comprimé par le poids même de l'athmoſphere: en mettant du mercure dans le coude *d*, on diviſe cet air en deux colonnes, dont une *E d*, ſouffre toujours la même compreſſion de la part de l'air extérieur, avec qui elle com-

X. LEÇON.

munique : & l'autre *d G* doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'athmosphere ; tant que le mercure est en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faisant aussi équilibre par son ressort à l'autre, qui pese en *d*, son volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorsqu'on ajoute du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éleve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obstacle. Cette opposition cependant n'empêche pas qu'il ne soit restreint dans un plus petit espace, parce qu'alors il est pressé, non-seulement par le poids de l'athmosphere, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure dont la hauteur ne doit se compter que du niveau de son élévation dans la plus courte branche, puisque ce qu'il y en a au-dessous de cette ligne est égal de part & d'autre.

On doit se souvenir qu'en parlant du barometre *, nous avons observé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur, pese au-

* Tom. II. VII. Leçon, p. 295. & suiv.

tant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'athmosphere : 14 pouces de mercure ajoutés au poids de l'air extérieur, augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa premiere longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'athmosphere est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur ; c'est-à-dire que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure font trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'athmosphere, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles compriment ; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

X. LEÇON.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte †, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminue de volume comme la pression augmente : & puisque la densité d'une matiere croît à mesure que ses parties se rapprochent & qu'elles occupent ensemble un moindre espace, on peut dire que l'air se condense, en raison directe des poids dont il est chargé. Cependant il est assez raisonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, , ou bien il faudroit supposer gratuitement que l'air eût à cet égard un privilege exclusif; car nous ne connoissons aucun corps élastique qui puisse être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puissances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'est jamais pur, & que les matieres dont il est chargé, ne sont pas compressibles comme lui, on doit croire, qu'après une compression très-grande, ses parties cesseroient d'être flexibles, parce qu'elles seroient appuyées sur des corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connue.

* *Cont. Linum*, p. 42.

† *Oeuv. de M. Mariotte, in-4. T. I. p.* 153.

* *Hist. de l'Ac.* 1702. p. 2.

POUR

POUR faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut: 1° Que les deux branches de l'inſtrument ſoient paralleles entr'elles, & les tenir dans une ſituation bien verticale pendant qu'on obſerve les élévations du mercure ; car comme les liquides peſent en raiſon de leur hauteur perpendiculaire à l'horizon, ſi ces branches étoient penchées, la preſſion ne feroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2° Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G* ; car il changeroit de dimenſions, indépendamment de la preſſion qu'il ſouffre de la part du mercure, & de l'air intérieur. 3° On doit avoir ſoin que la branche courte ſoit intérieurement bien cylindrique ; car autrement des parties égales meſurées ſur ſa longueur, ne donneroient pas des capacités ſemblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec juſteſſe le degré de condenſation de l'air par le raccourciſſement de la colonne, qu'il repréſente à meſure que la compreſſion augmente.

X. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

I I, *Fig.* 9, repréſente un ſeau rempli d'eau, dont on obſerve la température par le moyen d'un thermometre qu'on y plonge ; on aſſujettit dans ce premier vaiſſeau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *L L* eſt fort large : on prépare enſuite un bouchon de liege que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du barometre *K M*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du barometre ſoit dans la bouteille ; après quoi l'on verſe ſur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors ; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la denſité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de ſon enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout eſt bien refroidi : alors on marque avec un index à quelle hauteur le mercure ſe tient dans le barometre.

EFFETS.

Non-ſeulement le mercure ne hauſſe ni ne baiſſe au moment qu'il eſt renfermé, mais quoique par la ſuite il faſſe appercevoir ces ſortes de variations ſuivant la température du lieu où il eſt, toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaiſſeau *II*, où s'eſt faite la préparation, le mercure ſe remet à la hauteur indiquée par l'index : & cet effet eſt toujours le même après pluſieurs années.

EXPLICATIONS.

Un inſtant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'athmoſphere, en ſoutient la preſſion, & le tranſmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaiſſeau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé; cet air agit alors comme peſant ſur le réſervoir du barometre, & ſoutient le mercure à 28 pouces. Auſſi-tôt que la bouteille eſt bouchée, cette même maſſe d'air n'a plus que ſon propre poids, qui eſt

bien peu de chose en comparaison de celui de l'athmosphere, à qui elle étoit jointe précédemment : mais elle reste comprimée selon toute la force de ce poids dont elle n'est plus chargée, & sa réaction est égale à cette force; c'est pourquoi elle soutient, en qualité de corps à ressort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorsqu'elle pesoit avec l'air extérieur.

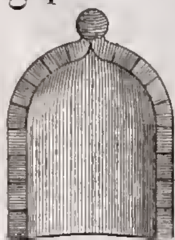
Il suit de cette épreuve que non-seulement le ressort de l'air est égal à la force qui l'a comprimé, mais on voit aussi que cette élasticité ne s'affoiblit pas, comme celle des autres corps, par succession de temps, puisque le mercure se soutient, ou revient toujours au même degré d'élévation, quoique pendant plusieurs années on tienne la même masse d'air en expérience.

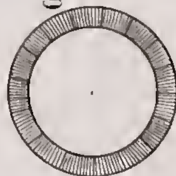
IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 10 représente deux hémispheres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diametre, dont l'un est garni d'un robinet, par lequel il peut


E
84
Fig. 8
28
G
9
6
3
h
d
F


Fig. 4.


Fig. 5




K
Fig. 9.
L
L
I
M
I

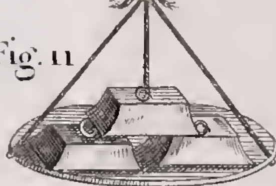

Fig. 11


Fig. 7.
C
B
A


Fig. 6.
Fig. 10

s'ajuſter à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de ſa convexité, pour être facilement ſuſpendu. Ces deux calottes ſe joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ſes bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excede autant en dedans qu'en dehors; on le couvre d'un cuir mouillé ſur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémiſphere, qu'on a eu ſoin de bien dreſſer.

Tout étant ainſi diſpoſé, on fait le vuide dans cette boule creuſe, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorſqu'elle eſt détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémiſpheres ainſi joints ſont ſupendus, comme on le peut voir par la *Fig.* 11, le poids de 60 livres qu'on y attache, n'eſt pas capable de les ſéparer l'un de l'autre ;

X. LEÇON. & quand on ouvre le robinet pour laiſſer rentrer l'air, la moindre force les déſunit.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Quand les deux hémiſpheres ſont attachés enſemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut ſeulement déviſſer deux ou trois tours le robinet par lequel ils ſont appliqués à la pompe, afin qu'on puiſſe faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaiſſeau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boîte de cuivre remplie de cuirs gras preſſés les uns ſur les autres, au travers-deſquels on fait paſſer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on la peut faire mouvoir de bas en haut & en tournant ; & à ſon autre bout on ajuſte un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte ſupérieure, comme il eſt repréſenté par la *Fig.* 12.

Par le moyen de cette boîte à

cuirs, lorſqu'elle eſt bien faite, on peut tranſmettre toutes ſortes de mouvements dans le vuide, ſans que l'air y rentre, au moins d'une quantité ſenſible. Il eſt inutile de dire qu'au lieu du crochet dont on ſe ſert dans cette expérience, on peut ajuſter au bout de la tige tout autre inſtrument dont on aura beſoin, ſelon les circonſtances.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain degré, & que l'on tire la tige de la boîte à cuirs, de bas en haut, les deux hémiſpheres ſe ſéparent ſans peine ; & ſi l'on remet en place celui qu'on a ſoulevé, en faiſant rentrer l'air dans le récipient, on les attache auſſi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémiſpheres ne s'attachent point enſemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans ſon état naturel, c'eſt-à-dire, auſſi denſe que celui du dehors, parce

X. LEÇON.

que l'effort qu'il fait pour s'étendre, & pour écarter ces deux calottes qui lui font obſtacle, eſt préciſément égal à celui de l'athmoſphere qui les preſſe extérieurement ; chacune d'elles ſe trouve en équilibre entre deux puiſſances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur ſe trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de ſon reſſort en eſt d'autant affoiblie ; l'équilibre eſt rompu, & l'adhérence des deux hémiſpheres eſt proportionnelle à la différence qu'il y a entre la denſité de l'air qui preſſe extérieurement, & celle de l'air qui réſiſte en dedans ; de ſorte que ſi celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour ſéparer ces deux pieces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiere de l'athmoſphere, dont la baſe auroit ſix pouces de diametre, ce qui ſeroit plus de 400 livres, en ſuppoſant ſeulement, ſelon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'athmoſphere fait une preſſion de 12 livres ſur un eſpace circulaire d'un pouce de diametre.

Lorſqu'on a placé la boule vuide

ſous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'athmoſphere, ce n'eſt plus, à la vérité, le poids de cet athmoſphere, qui retient les deux hémiſpheres l'un contre l'autre; mais c'eſt la réaction d'une maſſe d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui eſt capable des mêmes effets: c'eſt pourquoi ces deux pieces ne ſe ſéparent facilement que quand on a détendu le reſſort de l'air environnant, en diminuant ſa denſité par pluſieurs coups de piſton, juſqu'à ce qu'il ſoit autant raréfié que celui qui reſte dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémiſpheres rejoints de maniere qu'il ne puiſſe pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reſte du vaiſſeau, il les preſſe de nouveau l'un contre l'autre, par la même raiſon qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

APPLICATIONS.

C'eſt en conſéquence des principes dont on vient de voir les preuves,

X. LEÇON.

que le vuide ſe fait dans un vaiſſeau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abaiſſant le piſton d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un eſpace ſans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de ſon élaſticité ; mais une maſſe d'air qui ſe partage ainſi à deux eſpaces, devient néceſſairement plus rare dans chacun des deux ; c'eſt pourquoi le poids de l'athmoſphere produit en même temps les deux effets ſuivants ; 1° il attache le récipient à la platine, comme on a vu qu'il fait tenir enſemble les deux hémiſpheres de métal : 2° ſi l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'athmoſphere remonte le piſton en partie, c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que l'air qui eſt dans la pompe ſoit auſſi denſe que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens ſe dégoûtent de la machine pneumatique ſimple, par la difficulté qu'ils trouvent à remonter le piſton : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air

puiſſe bien paſſer du dedans au dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution*, le piſton ſe releve comme de lui-même ; & il reſte peu de choſe à faire, ſur-tout lorſqu'on approche des derniers degrés de raréfaction.

* *Voyez les Mémoires de l'Ac. pour l'année* 1740. *p.* 413.

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmente à meſure que l'air ſe raréfie ; & cette raréfaction, à chaque coup de piſton, ſuit le rapport des capacités. Si, par exemple, celle de la pompe eſt égale à celle du récipient, au premier coup, la denſité de l'air diminue de moitié, parce que ſon volume devient double, puiſqu'il remplit deux eſpaces ſemblables à celui qu'il occupoit d'abord : au ſecond coup, il ſe raréfie encore dans la même proportion, & par conſéquent ſa denſité eſt réduite au quart, & ainſi de ſuite ; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puiſſe être, ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puiſque la denſité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point ſe faire une idée fauſſe

X. LEÇON.

du vuide qui se fait ainsi, on doit considérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la densité diminue de plus en plus, jusqu'à ce que le ressort de ses parties soit autant détendu qu'il peut l'être, dans un espace où il est peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire absolument qu'il ne l'est plus; car il paroît qu'il l'est encore, quand on a épuisé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va suivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, soit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaisseau & celle de la pompe, c'est un fait dont il est facile de s'assurer par l'expérience. Que l'on adapte un barometre à un récipient, dont la capacité soit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniere qu'on le voit par la *Fig.* 13, au premier coup de piston la densité de l'air sera diminuée d'un tiers; aussi le mercure descendra d'un tiers de sa hauteur; en partant de 27 pouces, il sera donc à 18: au second

coup, l'air ſera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup ; & le mercure deſcendra auſſi du tiers de 18 pouces, c'eſt-à-dire, à 12 ; & toujours ainſi de la troiſieme partie du dernier reſtant.

Ce fait étant bien conſtaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique ; & ſi l'on connoît la grandeur abſolue de l'une des deux, cette comparaiſon fera connoître l'autre : car premiérement, ſi le mercure deſcend au premier coup de piſton du quart de ſa hauteur, on peut conclure en toute ſûreté que la capacité du récipient eſt à celle de la pompe comme 3 eſt à 1 ; & 2° ſi l'on ſait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on ſaura de cette maniere que le récipient en tient trois : cette façon de jauger les vaiſſeaux, pourroit trouver des applications utiles.

On peut auſſi, par ce moyen, eſtimer les degrés de raréfaction de l'air ; & il y a long-temps qu'on applique pour cet effet le barometre à la ma-

X. LEÇON.

chine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a beſoin de connoître au juſte l'état de l'air que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors ſe diſpenſer d'employer un barometre entier, qui ſeroit trop caſuel & toujours fort embarraſſant ; puiſque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, on peut regarder le reſte du tuyau qui demeure vuide au-deſſus comme inutile, & le ſupprimer : par ce moyen on a un barometre tronqué qui n'eſt autre choſe qu'un petit ſiphon renverſé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, eſt ſcellée hermétiquement par le haut ; & que l'on attache debout ſur un petit pied de plomb avec une regle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais ſoit qu'on ſe ſerve de cette eſpece de jauge, ſoit qu'on emploie le barometre entier, on ne voit jamais deſcendre le mercure parfaitement à ſon niveau ; il demeure toujours élevé un peu au-deſſus, s'il n'y

a point d'ailleurs quelques causes étrangeres. * On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pesanteur sensible ; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déjà trop affoibli pour forcer les frottements & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conséquence ; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la densité de l'air à $\frac{1}{300}$ de celle qu'il a quand le barometre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

X. LEÇON.

* *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sc. pour l'année 1741. p. 345.*

Si l'on entend bien de quelle maniere l'air agit, soit par son poids, soit par son ressort, on expliquera facilement une infinité de faits cu;

X. LEÇON.

rieux que l'uſage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquiſe de faire le vuide, ont donné occaſion de connoître.

Une veſſie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, ſe raréfie lui-même, à meſure que celui qui l'environne perd de ſa denſité : & en pareil cas un plomb qui peſeroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne ſeroit point équivalent à la preſſion de l'air qu'on fait ceſſer d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raiſon, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, creve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au reſſort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour ſe déployer.

Un œuf placé dans un gobelet ſe vuide par un fort petit trou que l'on fait en ſa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne ; il ſe remplit auſſi par le même trou quand on laiſſe rentrer l'air dans le récipient : c'eſt

c'eſt qu'un œuf, ſur-tout s'il eſt vieux, contient de l'air qui ſurnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cauſe de ſa légéreté : cet air s'étend & chaſſe devant lui la matiere propre de l'œuf ; à meſure qu'on diminue la preſſion de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, ſa preſſion fait rentrer tout ce qui eſt ſorti de la coque, & reſſerre l'air intérieur dans le premier eſpace qu'il occupoit.

Cette explication devient ſenſible, ſi dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vaſe, on laiſſe une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie ſupérieure, & qu'on faſſe paſſer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig.* 15. Car à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau qui eſt renfermée avec elle juſqu'au-

(*a*) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état où il eſt à la ſurface de la terre, peut remplir un eſpace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'air*, p. 173.

X. LEÇON.
deſſous du niveau ; après quoi ſi l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend ſon premier volume au-deſſus d'elle.

Une vieille pomme ſe déride dans le vuide , parce que l'air qui eſt ſous la peau s'étend & la ſouleve ; mais elle devient plus ridée qu'auparavant quand elle ſort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en ſe mettant au large, en eſt ſorti en partie, & qu'il en reſte d'autant moins pour réſiſter à la preſſion de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il ſeroit ſuperflu de rapporter ici toutes les expériences de cette eſpece qui ont été faites, & qui feroient plutôt un ſpectacle agréable & amuſant, qu'un concours de preuves néceſſaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes que nous croyons avoir établis aſſez ſolidement : il ſuffit qu'on entende bien quelques-uns de ces faits ; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

Mais après avoir fait connoître le reſſort de l'air tendu par le poids de l'athmoſphere, & les différents degrés

de raréfaction dont ce fluide eſt ſuſceptible, en partant de l'état où il eſt communément à la ſurface de la terre, il eſt à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter ſa denſité & ſon reſſort, lorſqu'on le ſoumet à une preſſion plus grande que celle de l'athmoſphere.

VI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 16 repréſente un vaiſſeau de cuivre que l'on remplit d'eau environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité : on y joint enſuite le canal *NO*, garni d'un robinet qui s'ajuſte à vis au vaiſſeau, & dont le bout inférieur *O*, qui eſt ouvert, deſcend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompe foulante *PR*, *Fig.* 17, avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air ; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour viſſer en ſa place un ajutage percé d'un ou de pluſieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-deſſus duquel on éleve le piſton ; & ce même piſton,

X. LEÇON.

en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en-dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éleve de nouveau le piston.

EFFETS.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

EXPLICATIONS.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *L Q*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploie sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vîtesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur : & comme ces

air qui chaſſe l'eau ſe trouve plus au large à meſure que le vaiſſeau ſe vuide, ſon reſſort s'affoiblit de plus en plus; & par cette raiſon le jet en devient moins élevé vers la fin.

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le diſons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaiſſeau & celui du dehors, il ſeroit aiſé de s'en convaincre par une expérience aſſez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

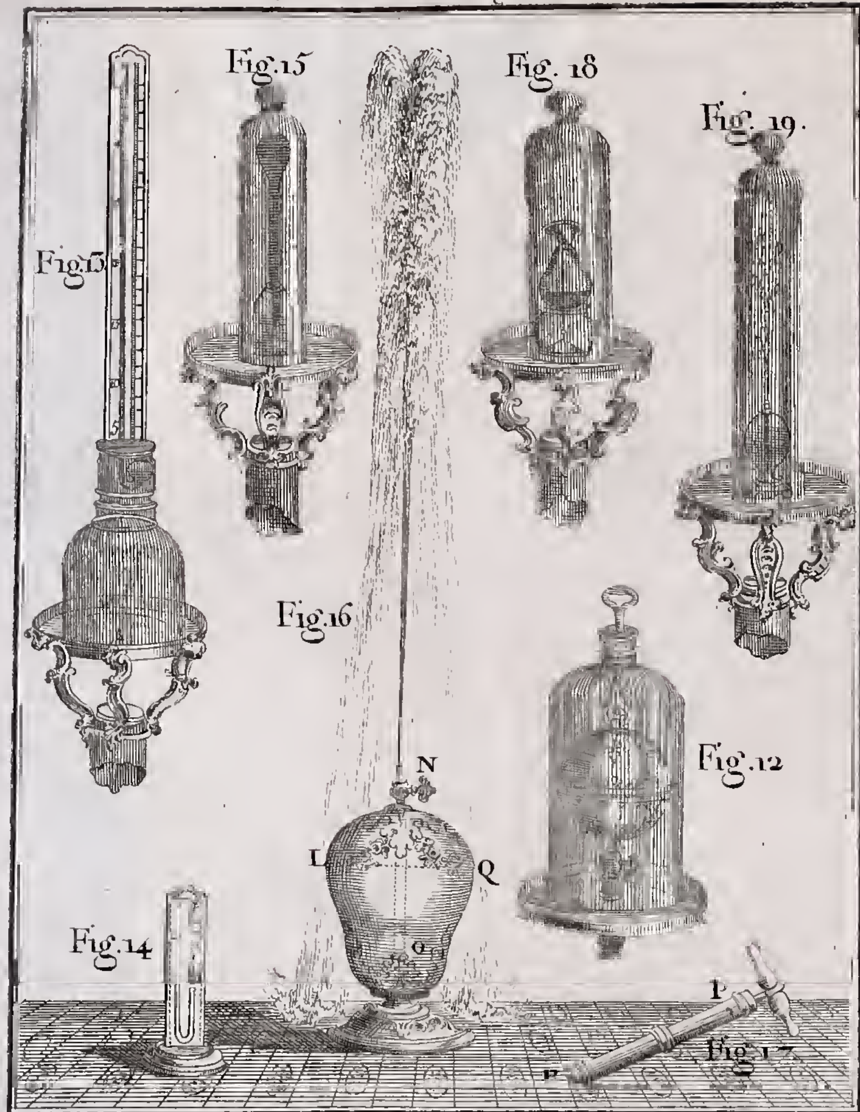
On peut cimenter un tuyau de verre, qui finiſſe en pointe, à une bouteille de même matiere, de ſorte qu'elle ſoit en petit ce qu'eſt en grand le vaiſſeau de cuivre de l'expérience précédente : ſi l'on renverſe cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient ſur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig.* 18, à meſure qu'on fera le vuide, on verra ſortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet; enſuite lorſqu'on laiſſera rentrer l'air dans le récipient, ſa preſſion pouſſera dans la bouteille autant d'eau qu'il en ſera ſorti d'air.

Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-dessus. Mais si l'on redresse la bouteille, comme dans la *Fig.* 19, & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui est au-dessus de l'eau venant à se raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'est pas l'air comprimé artificiellement qui force la résistance du poids de l'athmosphere, comme dans l'expérience précédente, mais c'est le ressort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoiblissant celui qui lui résiste à l'orifice de la bouteille : c'est toujours un air plus fort contre un air plus foible ; en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne sont plus en équilibre.

VII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 20 représente une espece d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'au-


Fig. 13
Fig. 15
Fig. 18
Fig. 19
Fig. 16
N
L
Q
O
Fig. 12
Fig. 14
P
Fig. 17
R

tre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; savoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La derniere de ces soupapes se leve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sers, de maniere qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet, il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espece de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme ex-

térieure d'un fusil, on l'a garni d'une
X. LEÇON. platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la soupape.

EFFETS.

Le chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle est chassée avec tant de force, qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diametre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers: mais communément le huitieme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes, & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en sortant, font peu de bruit, sur-tout si le lieu où l'on est n'est point fermé; ce n'est qu'un souffle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas.

EXPLICATIONS.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la seule préparation de celle-ci doit suffire pour en faire entendre les effets: l'air condensé entre les deux canons

canons fait effort pour en ſortir ; dès qu'on lui donne ſon paſſage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre : la balle reçoit donc une vîteſſe preſqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la ſoupape ne demeure ouverte qu'un inſtant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les dernieres ſont pouſſées plus foiblement, parce que le reſſort de l'air diminue à meſure que ce qu'il en ſort lui laiſſe plus de place pour s'étendre. Le bruit eſt incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pouſſe, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'exploſion ſe fait toujours avec une vîteſſe extrême. L'arquebuſe à vent ſe fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la maſſe d'air qui eſt frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande réſiſtance.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

Les fuſils, piſtolets, ou cannes à vent, ſont des inſtruments plus curieux qu'utiles; la difficulté de les conſtruire, celle de les entretenir long-temps en bon état, les rend néceſſairement plus chers, & d'un ſervice moins commode & moins sûr que les fuſils à poudre ordinaires: le ſeul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper ſans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la ſociété; & c'eſt une précaution fort ſage de reſtreindre le plus qu'il eſt poſſible l'uſage de ces ſortes d'inſtruments. Ceux qui les aiment en parlent ſouvent avec enthouſiaſme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur attribuant des effets dont ils ne ſont pas capables: il n'eſt point vrai, par exemple, qu'ils aient jamais autant de force qu'une arme à feu; & c'eſt une choſe fort rare que les ſoupapes tiennent l'air aſſez conſtamment pour les garder long-temps chargés.

Si les hiſtoires qu'on fait de la *pou-*

dre blanche, ont quelque réalité, on doit ſans doute les entendre dans le ſens figuré du fuſil à vent, qui eſt capable de porter un coup aſſez meurtrier ſans faire un bruit conſidérable; car comme le bruit d'un fuſil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il eſt une ſuite néceſſaire de l'exploſion ſubite dont elle eſt capable, on doit croire que toute matiere qui ſe dilatera avec la même vîteſſe, qu'elle ſoit blanche ou noire, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit ſon mouvement du reſſort de l'air, on les peut varier de cent manieres différentes, plus curieuſes & plus agréables les unes que les autres: elles le ſont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-deſſus de ſa ſource, tout au contraire des jets ordinaires, qui ſe font, comme on ſait, par une chûte d'eau, dont le réſervoir eſt plus haut. Je me contenterai d'un ſeul exemple, pour ne point m'arrêter infructueuſement à des choſes qui ſe trouvent dans tous les livres de Phyſique.

La fontaine qui eſt repréſentée par

X. LEÇON.

la *Fig.* 21, porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribue l'invention ; on la conftruit communément de deux baffins ou boîtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiere : celle-ci eft faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchanifme : la matiere & la forme extérieure font tout-à-fait indifférentes ; on les peut varier felon fon goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau jufqu'aux trois quarts le globe *A B*, par le canal *C D*, qui eft ouvert de part & d'autre ; j'en mets enfuite dans le baffin *G H*, pour tenir toujours plein le tuyau *I K*; qui eft ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à fe répandre dans le globe inférieur *E F*, charge de tout fon poids la maffe d'air dont il eft plein : cet air ainfi comprimé s'échappe par le canal *L M*, & exerce fa preffion fur la furface de l'eau qui eft en *A B* ; & enfin cette eau preffée par l'air, s'élance en forme de jet par le canal *C D*, au bout duquel on met un ajutage percé, fi l'on veut, de plufieurs trous pour former une gerbe d'eau.

Il ſuffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le baſſin pour emplir le tuyau *I K*; le jet qui naît auſſi-tôt, fournit aſſez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui ſe fait ainſi du globe *A B*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération par une eſpece de robinet qui eſt deſſous.

On fait uſage auſſi du reſſort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piſton : ſuppoſons, par exemple, que la pompe aſpirante & foulante *n o p*, *Fig.* 22, ſoit enveloppée d'un vaiſſeau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un eſpace bien fermé *Q R S*, qui communique avec le tuyau montant *T V*.

Quand l'eau élevée par l'aſpiration ſous le piſton ſera forcée enſuite par la compreſſion de paſſer par la ſoupape qui eſt en *o*, non-ſeulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera auſſi vers *Q R*, dans l'eſpace qui eſt autour de la pompe, & en s'élevant ainſi elle tendra le reſſort de l'air qui ſera entr'elle & le fond de cette cavité. C'eſt pourquoi,

X. LEÇON.

pendant qu'on remontera le piſton, pour faire une nouvelle aſpiration, la réaction de cette maſſe d'air comprimé ſuppléera à la preſſion du piſton, & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vîteſſe ; car le tuyau *T V* fourniſſant de l'eau ſans interruption, il en paſſe une plus grande quantité dans un certain temps : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puiſqu'il en faut non-ſeulement pour porter le poids de l'eau qui peſe en *T*, mais auſſi pour comprimer l'air dont on veut tendre le reſſort. Au reſte il y a bien des cas où il eſt important de fournir de l'eau ſans interruption ; & c'eſt pour cette raiſon que l'on conſtruit ainſi ces petites pompes portatives ſi fort en uſage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris, avec leſquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naiſſant, en attendant des ſecours plus puiſſants.

Depuis l'invention de la machine

pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différents degrés: il étoit naturel de penser qu'il y en avoit beaucoup à faire aussi dans l'air condensé, au-dessus de ce qu'il l'est communément, & plusieurs Physiciens ont déjà mis la main à l'œuvre. On se sert, pour ces sortes d'épreuves, d'un vaisseau capable d'une grande résistance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe semblable à celle dont nous avons fait usage ci-dessus pour la fontaine de compression. * Mais l'air qui passe ainsi par une pompe se charge de vapeurs grasses & humides; & il y a bien des cas où il seroit à souhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui résulte de l'expérience ne puisse être attribué à rien autre chose qu'au degré de compression qu'on lui a fait prendre, à la densité de sa propre matiere. Cette considération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'athmosphere, ou même en l'augmentant : lorsque

* Fig. 17.

X. LEÇON.

j'y aurai mis la derniere main, si elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instruments qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut, par compression, rendre le volume d'une masse d'air 13 fois plus petit qu'il n'est dans son état naturel à la surface de la terre. D'autres Philosophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différents procédés : celui qui paroît avoir le plus fait à cet égard, est M. Hales, qui dit * avoir réduit l'air à la 1837e partie de son volume ordinaire (a) ; sur quoi M. Muschenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuse. » L'air, par cette ex» périence, est devenu, dit-il, plus

* *Stat des végét. dans l'appendice, p. 390.*

(a) Il y a de l'obscurité dans le calcul de M. Hales ; M. de Buffon, son traducteur, trouve qu'il faut corriger le résultat, en comptant 1551, au lieu de 1837. Par la traduction Italienne que Mademoiselle Ardinghelli a faite de ce même ouvrage, il paroît que M. Hales a compté avoir réduit l'air à la 1598e partie du volume qu'il a dans l'athmosphere.

» de deux fois aussi pesant que l'eau ;
» ainsi comme l'eau ne peut être com-
» primée, il paroît delà que les par-
» ties aëriennes doivent être d'une
» nature bien différente de celle de
» l'eau ; car autrement si l'air étoit de
» même nature, on n'auroit pu le ré-
» duire qu'à un volume 800 fois plus
» petit ; il auroit donc été alors pré-
» cisément aussi dense que l'eau, &
» il auroit aussi résisté à toutes sortes
» de pressions avec une force égale à
» celle qu'on remarque dans l'eau. «

M. Hales, à cette occasion, propose une espece de jauge propre à mesurer les hauteurs de la mer ; mais comme la regle de M. Mariotte, sur la condensabilité de l'air, n'est juste que dans les degrés moyens de compression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se comprime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révoquer en doute cette grande condensabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérience, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains

X. LEÇON.

mouvements inteftins de notre globe ; car après avoir prouvé que le reffort de l'air animé par la chaleur, eft d'autant plus fort que ce fluide a plus de denfité, il ne doute pas que les tremblements de terre ne puiffent être excités par des maffes d'air fouterrein qui fe dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'athmofphere, prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une denfité égale à celle du mercure *.

* *Mém. de l'Académie* 1703. p. 101.

Les expériences précédentes & les obfervations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de denfité, & de quelle maniere fon reffort augmente ou diminue par une preffion plus ou moins grande : il refte à favoir maintenant quels effets produifent le chaud & le froid fur ce fluide.

Ce n'eft point ici le lieu d'examiner quelle eft la nature du feu, ni comment il agit fur les corps, ces queftions feront traitées dans la fuite de cet ouvrage, avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons feulement par anticipation, & pour faci-

liter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer présentement, 1° que le froid n'est ni un être réel, ni une qualité positive, mais seulement l'état d'un corps qui est actuellement moins chaud qu'il ne l'a été, ou qu'il ne le peut être ; de sorte qu'il n'y a rien dans la nature qui soit absolument froid : la glace, par exemple, n'est froide que par comparaison à l'eau dont elle est formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'est une vérité que nous développerons davantage dans la suite, & que nous appuierons de toutes les preuves nécessaires. 2° On peut considérer la chaleur, comme l'effet d'une matiere extrêmement subtile, dont l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénetre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets

X. LEÇON.

eſt qu'elle en augmente le volume, c'eſt-à-dire, qu'une même quantité d'air eſt capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle eſt plus ou moins échauffée ; le ſecond effet de la chaleur ſur l'air, eſt d'augmenter ſon reſſort, à proportion de la preſſion dont il eſt chargé, de ſorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condenſé, lui donne un reſſort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Parmi pluſieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les barometres, il en faut choiſir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui ſoit par-tout d'un diametre égal ; ce que l'on connoîtra facilement, en faiſant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure : car ſi elle eſt toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle ſe trouvera, c'eſt

une marque que la capacité eſt égale dans toutes les parties ſemblables. Enſuite il faut ſceller hermétiquement une des extrêmités, & le placer ſur des charbons ardents, pour le faire chauffer juſqu'à rougir ; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui eſt ouvert dans du mercure bouillant, & on laiſſe le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de refroidiſſement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui eſt ſcellé dans de la glace pilée, obſervant néanmoins que le tube ſoit dans une ſituation preſque horizontale, afin que l'air qui y reſte ne ſoit preſque point comprimé par le poids du mercure qui le tient renfermé.

EFFETS.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie ; & quand il a été quelque temps dans la glace, la portion d'air qui eſt contenue entre le bout ſcellé & le mercure, occupe à peu près le tiers de la longueur du tuyau.

X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Le tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne d'air ſemblable à celui de l'athmoſphere : les parties de cette matiere qui fait la chaleur, quelle qu'elle ſoit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écarté les parties propres de ce fluide, & ſon volume, pour cette raiſon, s'eſt augmenté conſidérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'eſt point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en eſt ſorti, & le tube eſt reſté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiere du feu.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à ſe refroidir, c'eſt-à-dire, que cette matiere étrangere qui avoit pénétré le verre pour ſe mêler avec l'air, s'eſt évaporée, ou qu'elle a perdu peu à peu la plus grande partie de ſon mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de ſe rapprocher, d'autant plus que le poids de l'athmoſphere appuyant ſur la ſurface du mercure, l'a obligé

d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

On voit donc par cette expérience qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'athmosphere, n'a que le tiers du volume qu'elle a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre: ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu près semblables, on a trouvé que le volume de l'air, lorsqu'il commence à geler, est à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il se dilate environ d'un septieme, à compter depuis le froid de la glace commençante jusqu'à nos chaleurs communes d'été, qui sont à peu près de 25 degrés au thermometre de M. de Reaumur.

Mais dans ces sortes d'expériences, sur-tout lorsqu'on chauffe l'air consi-

X. LEÇON.

dérablement, on trouve ſouvent des différences bien conſidérables, ſuivant l'état actuel de l'air ſur lequel on opere, ou des vaiſſeaux qu'on emploie; car c'eſt un fait, que l'humidité ſe joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occaſionne une dilatation qui eſt quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne ſeroit avec le même degré de chaleur, ſi l'on employoit un air plus ſec.

D'ailleurs, comme l'air eſt plus denſe ou plus comprimé dans un temps que dans un autre, les réſultats varient auſſi ſelon la hauteur actuelle du barometre, qu'on ne doit pas négliger de conſulter en pareil cas.

APPLICATIONS.

C'eſt en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites ampoules de verre minces, qu'on ſouffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on ſcelle hermétiquement : l'effet en eſt plus ſûr & plus grand, quand on y renferme une petite goutte d'eau, non-ſeulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais auſſi parce

parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amollisse au grand feu, & ne se prête sans rompre à l'extension du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour surprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne sautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne sont point en garde. Les châtaignes, ou les marons, qui crevent sous la cendre chaude, ne sont pas si dangereux, mais c'est encore un effet qui dépend de la même cause ; l'air renfermé sous l'écorce se dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer : plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

Dans la premiere leçon *, j'ai fait mention d'une petite cassolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante ; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite

* *Prem. Section. III. Expérien. p. 27.*

X. LEÇON.

bouteille, & qu'on plonge aussi-tôt son ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait sortir une grande partie, & ce qui reste, venant ensuite à se condenser à mesure qu'il se refroidit, laisse un vuide où le poids de l'athmosphere porte la liqueur, comme il est arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'est aussi de cette maniere qu'on emplit les verres des thermometres dont les tuyaux sont ordinairement si menus qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de temps. La dilatation de l'air même ne seroit encore qu'un moyen imparfait dans ces sortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaisseau, puisqu'une très-grande chaleur ne peut faire sortir qu'environ les deux tiers de l'air ; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la suite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermometres, ce-

Fig. 20.



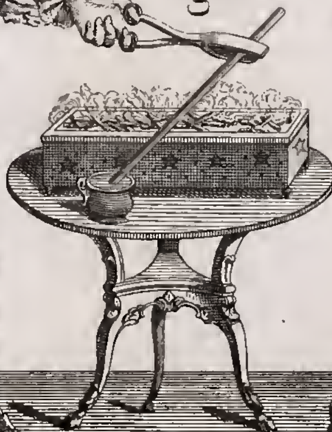
Fig. 24.

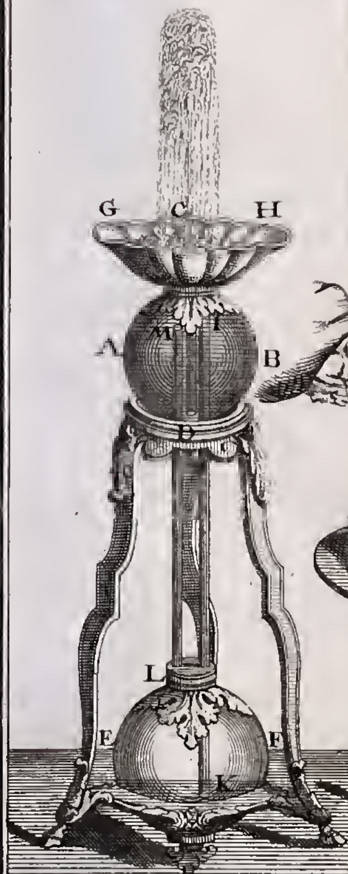


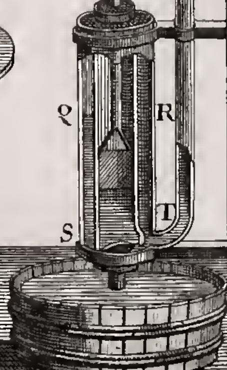
Fig. 22.



Fig. 23.









lui de Sanctorius, qui est représenté par la *Fig.* 24, produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'en-haut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau, jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'en-bas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par la graduation qui est sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même liqueur poussée par le poids d'une colonne de l'athmosphere qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'histoire de cet instrument, lorsque nous parlerons de ceux qui servent à mesurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compression de l'air, on peut de même employer sa dilatation pour former des fontaines qui amusent les curieux: ces principes de mouvements auroient des applications sans fin;

mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le deſſein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par leſquels on pourra juger des autres. *A B*, *Fig.* 25, eſt un vaſe de verre étranglé & ouvert en-haut & en-bas, dont la patte eſt arrêtée ſur le deſſus d'une caiſſe *C D*, formée en piédeſtal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *E F*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche, à quelques lignes près, le fond du vaſe. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, & qui eſt ouvert, paſſe dans l'étranglement *B*, où il eſt cimenté, & à travers du piédeſtal, pour ſe joindre à une eſpece de ballon de cuivre mince, auquel il eſt ſoudé. La caiſſe *C D* eſt garnie de plomb par dedans, & le deſſus qui peut ſe lever, s'attache avec des crochets.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air ; le vaſe *A B* eſt rempli d'eau, environ juſqu'aux trois quarts de ſa capacité, & l'on verſe de l'eau bouillante dans la caiſſe *C D*, par un trou qui eſt pratiqué au-deſſus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par

l'eau bouillante dans laquelle il se trouve plongé, se dilate par le canal *G*; & pressant par son ressort la surface de l'eau qui est dans le vase *A B*, il la fait sortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre soit au moins deux fois aussi grand que le vase *A B*; car, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'air ne se dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caisse qui contient le ballon.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig.* 19, si, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante : mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt, ou autrement, pour donner le temps à la liqueur de s'échauffer un peu ; &

avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorſqu'il partira. *Voyez la Fig.* 26.

On vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air, quand il eſt libre de s'étendre, on apprendra par ce qui ſuit, que la même cauſe augmente ſon reſſort, lorſque le volume eſt fixé par des obſtacles.

IX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A B C, *Fig.* 27, eſt un tube de verre qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diametre intérieurement, recourbé par en-bas, & terminé par une boule creuſe & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diametre. On y fait couler du mercure, pour remplir ſeulement la courbure *DBC*, & de maniere que l'inſtrument étant debout, cette liqueur ſoit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne ſoit pas plus condenſé que celui de l'athmoſphere au moment de l'expérience. Enſuite on ajoute du

mercure dans la partie *A D* du tuyau jusqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau; c'est-à-dire, de la ligne *D C*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle sorte que la boule en soit entiérement couverte.

EFFETS.

L'instrument étant ainsi plongé, le mercure s'éleve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre, l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'athmosphere, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le temps de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, dou-

X.
LEÇON.

blent donc cette preſſion, & par conſéquent la denſité de l'air qui eſt dans la boule : ſi cet air ainſi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'eſt une preuve que ce degré de chaleur augmente ſon reſſort d'un tiers ; car 18 pouces 8 lignes ſont juſtement la troiſieme partie de 56, ſomme de la double preſſion dont l'air eſt chargé avant l'immerſion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élevent dans la longue branche, aux dépens de celui qui eſt dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raiſons ; premiérement, parce que le mercure qui paſſe dans l'autre branche, lui laiſſe un peu de place pour s'étendre ; ſecondement parce que le verre ſe dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule devient néceſſairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs ; c'eſt pourquoi la denſité de l'air diminuant un peu, la force de ſon reſſort, augmenté par la chaleur, n'eſt pas tout-à-fait auſſi grande qu'elle le

ſeroit

feroit, fi le volume demeuroit conftamment dans fes bornes ; ainfi l'augmentation de la colonne de mercure au-deffus des 28 pouces ne va jamais jufqu'à 18 pouces 8 lignes ; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on fe fert d'un tuyau fort menu, par comparaifon à la capacité de la boule.

X. LEÇON.

C'eft donc un fait inconteftable, que la force du reffort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante : mais quelle eft la raifon de ce fait, & comment arrive-t-il que les parties de l'air échauffé acquierent plus de roideur ? c'eft ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raifonnant par des conjectures affez plaufibles, que * » l'action de la chaleur confifte, com- » me nous l'avons déjà dit, en une » infinité de petites particules très- » agitées, qui pénetrent les corps. » Quand elles entrent dans une maf- » fe d'air, elles en ouvrent & elles » en développent les lames fpirales, » non-feulement parce que ce font » de nouveaux corps qui fe logent » dans leurs interftices ; mais princi-

* *Hift. de l'Acad. des Scienc. 1702, p. 3.*

X. LEÇON.

» palement parce que ce ſont des » corps qui ſe meuvent avec beau- » coup de violence ; delà vient » l'augmentation de ce volume d'air. » Que s'il eſt enfermé de maniere » qu'il ne ſe puiſſe étendre, les par- » ticules de feu qui tendent à ouvrir » les ſpirales, & ne les ouvrent point, » augmentent par conſéquent leur » force de reſſort, qui ceſſeroit ſi » elles s'ouvroient librement. Quand » l'air eſt condenſé, il y a plus de » particules d'air dans un même eſpa- » ce, & quand les particules de feu » viennent à y entrer, elles exercent » donc leur action ſur un plus grand » nombre de particules d'air ; c'eſt- » à-dire, qu'elles cauſent ou une plus » grande dilatation ou une plus gran- » de augmentation de reſſort. Or » quand l'air eſt chargé d'un plus » grand poids, il eſt plus condenſé ; » & par conſéquent, s'il ne peut » alors s'étendre, comme on le ſup- » poſe toujours, un même degré de » chaleur augmente davantage ſon » reſſort. «

APPLICATIONS.

En procédant comme dans l'expérience précédente, on obſerve que l'augmentation cauſée au reſſort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, eſt égale au tiers du poids dont l'air eſt alors chargé, ſi l'expérience eſt faite dans le printemps ou dans l'automne, c'eſt-à-dire, dans un temps qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainſi l'air que nous reſpirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de ſon reſſort de 9 pouces 4 lignes. Un air condenſé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui ſont le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condenſation augmentera différemment ſon reſſort, ſelon les différents degrés de chaleur.

M. Amontons, à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en conſtruiſant ſur

X. LEÇON.

ce principe un thermometre d'air * qui me paroît avoir été le premier (*a*) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instruments n'apprenoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre temps où on les avoit observés : les thermometres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voie.

* *Mém. de l'Acad. des Sciences* 1702, *p.* 161.

Un poële allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'est pas tellement renfermé qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits passages qui se trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laissent la liberté de s'étendre ; mais l'air, quoiqu'ainsi raréfié & moins dense que l'athmosphere, se tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en

(*a*) On trouve dans les Transact. Philosop. n. 197, année 1693, un mém. de M. Haley, qui a pour objet de faire un thermometre comparable en tous lieux & sans modele.

s'échauffant il acquiert un degré de ressort qui le met en état d'en soutenir la pression ; la même cause qui diminue sa densité, augmente d'autant son ressort, & l'un supplée à l'autre.

Il n'en est pas de même lorsqu'on fait du feu dans une cheminée ; l'air s'y raréfie, sans que son ressort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement ; aussi-tôt l'équilibre cesse entre les deux colonnes de l'athmosphere qui répondent aux deux extrêmités du tuyau ; celle qui pese par en-bas ayant toute sa densité, l'emporte sur l'autre qui est en partie raréfiée, & il se fait un courant d'air de bas en haut : voilà au moins ce qui arrive pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

De tous les usages que nous faisons de l'air, il n'en est point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus nécessaire que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 30 fois dans chaque minute, la poitrine s'éleve & s'abaisse, & par ce mouvement al-

X. LEÇON.

ternatif assez semblable à celui d'un soufflet qui est en jeu, elle se rétrecit & se dilate : en se dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui, pressé par le poids de l'athmosphere, passe dans les vésicules des poumons ; lorsque la poitrine s'abaisse ensuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, passe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'est chargé : la premiere de ces deux actions se nomme *inspiration*, la derniere s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre sont tellement nécessaires pour la conservation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périsse infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences suivantes.

X. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On couvre d'un grand récipient un pigeon, ou quelqu'autre oiseau, que l'on place sur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne plusieurs coups de piston pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la denſité de l'air eſt diminuée à-peu-près des deux tiers dans le récipient, l'oiſeau tombe en convulſion ; aſſez ſouvent il ſe vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excréments ; & ſi l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laiſſe ſeulement quelques minutes en cet état, il périt ſans retour ; mais lorſqu'on lui rend l'air promptement, il ſe rétablit en peu de temps : ce rétabliſſement, à dire vrai, n'eſt pas, pour l'ordinaire, de longue durée ; je n'ai guere vu d'oiſeaux, ni même d'autres animaux, qui aient beaucoup ſurvécu à cette épreuve.

XI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Dans un grand vaſe de verre, preſque plein d'eau, on met un petit poiſſon vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient ſur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

X. Leçon.

EFFETS.

A mesure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit sortir des bulles d'air de dessous les écailles du poisson, par ses ouies & par sa bouche. L'animal se tient à la surface de l'eau sans pouvoir aller au fond; il y meurt enfin, mais ce n'est qu'après plusieurs heures d'épreuve : & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, soit avant, soit après sa mort, il retombe au fond du vase, & ne peut jamais remonter à la surface de l'eau.

EXPLICATIONS.

La vie animale, comme on sait, consiste principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du sang. Or si l'on en croit les plus habiles Anatomistes, & si l'on en juge par leurs observations & par leurs expériences, la respiration entretient l'un & l'autre, soit parce que l'air qui est poussé dans les poumons par le poids de l'athmosphere, sert d'antagoniste aux muscles que la nature emploie pour l'inspiration, & que pressant les vaisseaux où le sang a été por-

té par la contraction du cœur, il le détermine à refluer vers cette source, pour aller ensuite aux autres parties du corps ; soit parce que l'air divisé & filtré, pour ainsi dire, se mêle avec le sang & circule avec lui en l'animant par son ressort * : l'animal qui ne peut pas respirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

X. LEÇON.

L'oiseau que l'on a placé dans un air considérablement raréfié, ne respire plus, parce que cet air ne participe plus au poids de l'athmosphere, dont il est séparé, & que son ressort, comme sa densité, est beaucoup diminué. C'est en vain que la poitrine se dilate, le fluide qui a coutume de s'y introduire n'en a plus la force ; ainsi le mouvement alternatif que l'on nomme respiration, ne peut plus avoir lieu, puisque des deux puissances qui le produisent, on en supprime, ou on en affoiblit une, qui est le poids ou le ressort de l'air.

Une autre cause qui fait périr un animal dans le vuide, c'est que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de son corps se raréfie fortement, lorsqu'il n'est plus

* M. *Méry. mém. de l'Acad. des Sc.* 1700, *p.* 211.

X. LEÇON.

contenu par la preſſion de l'air extérieur ; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent ſouvent les parties où elles ſe trouvent engagées, ou bien elles font des obſtructions dans les vaiſſeaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'eſt pour cela ſans doute que les animaux ont ordinairement des nauſées, ou qu'ils ſe vuident lorſqu'on les applique à ces ſortes d'épreuves ; car l'air des inteſtins ou de l'eſtomac venant à s'étendre, chaſſe devant lui les aliments non digérés, ou les excréments qui lui ferment le paſſage.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a deſtinés à vivre dans l'eau, puiſqu'on le voit ſortir du poiſſon à meſure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies reſpirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puiſque la privation de cet élément ne les fait pas mourir auſſi promptement ; mais on

doit croire que ce qui accélere le plus leur perte dans le vuide, c'eſt l'air intérieur qui ſe dilate & qui met tout en déſordre. Cette double véſicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plupart des autres poiſſons, ſe diſtend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal; c'eſt pourquoi tant qu'il eſt dans le vuide, il ſurnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond : mais il devient plus petit & ſe précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient ; parce que la véſicule en ſe dilatant s'eſt vuidée en partie, & que le reſte de l'air qu'elle contient, lorſqu'il reprend une denſité égale à celle de l'athmoſphere, n'eſt plus capable de la remplir, comme il eſt facile de s'en aſſurer en ouvrant le corps du poiſſon.

APPLICATIONS.

Par l'explication que je viens de donner des deux expériences précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périſſent par deux raiſons principales : prémierement, par défaut de reſpiration ; ſeconde-

X. LEÇON.

ment, par la dilatation de l'air qui se trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les especes different non-seulement par la figure & par les mœurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il est vraisemblable que tout ce qui respire, ne respire point de la même façon; que dans certains animaux la respiration doit être abondante & fréquente; & que dans d'autres au contraire elle peut se faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un certain temps. Voilà, sans doute, pourquoi de tant d'animaux d'especes différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muschenbroek, & tant d'autres Physiciens, les uns meurent dans l'espace de 30 ou de 40 secondes, comme presque tous les oiseaux, les chiens, les chats, les lapins, les souris, &c. pendant que d'autres soutiennent un vuide de plusieurs heures, comme les poissons, la plupart des reptiles, & nommément la grenouille qui résiste quelquefois à cette épreuve pendant un

jour entier ſans mourir. Car puiſque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils aient beſoin de reſpirer à la maniere des animaux terreſtres ; & peut-être ſoutiendroient-ils le vuide plus long-temps qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y ſouffrir qu'une ſimple privation d'air, & ſi celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'économie des parties, par ſa grande dilatation. Ce qui me porte à penſer ainſi, c'eſt qu'on les voit s'enfler conſidérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poumons flaſques & plus peſants que l'eau.

Une autre raiſon qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'eſt que preſque tous les inſectes, ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les ſcarabées ſouffrent, ſans périr, une privation d'air qui va quelquefois à pluſieurs jours, ſans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui ſe dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel que par le ſeul défaut de

X. LEÇON.

respiration ; & ces petits animaux vraisemblablement peuvent être long-temps sans respirer, au moins l'air grossier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux est de pouvoir prendre l'air, & que c'est leur faire violence que de les en priver. On voit le poisson s'élancer de lui-même à la surface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturalistes conviennent qu'il fait filtrer & s'approprier celui qui est disséminé dans l'eau ; & quand il meurt sous la glace, on a raison de croire que c'est parce que l'air lui a manqué, puisqu'on évite cet accident quand on a soin de rompre les glaçons. Enfin le poisson vit beaucoup plus long-temps dans l'air & sans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

En conséquence de ce dernier fait qui est incontestable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de plusieurs personnes que je ne puis pas

soupçonner d'avoir voulu m'en imposer. On suspend, dit-on, des carpes dans de petits filets, sur de la mousse humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois semaines on les engraisse avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabattre de ce récit (*a*), il est évident que l'air est plus nécessaire que l'eau au poisson même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

Quelques Auteurs ont observé que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux nés, ne meurent pas dans le vuide aussi promptement que les adultes des mêmes especes; c'est que la respiration est d'une nécessité plus pressante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en sentir la différence il faut savoir, qu'avant la naissance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-

(*a*) J'ai tenté deux fois cette expérience sans succès ; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un assez long transport, ou assez mal-traitées depuis qu'elles étoient sorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler : elles sont mortes en moins de 24 heures.

X. LEÇON.

ci qui ne respire point encore, le sang va du ventricule droit au ventricule gauche du cœur, par une communication que les Anatomistes ont nommée le *trou ovale*, & sans être obligé de passer par le poumon, où l'air extérieur n'a point encore d'accès : mais après la naissance, ce passage se ferme peu-à-peu, & la respiration devient nécessaire, pour enfler les vésicules du poumon, & pour faire circuler le sang dans le nouvel animal séparé de sa mere, de la même façon que la respiration de celle-ci le faisoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'est pourquoi l'on reconnoît communément si un enfant est mort avant que de naître, ou s'il a respiré avant que de mourir, en mettant son poumon dans l'eau ; car s'il surnage, c'est une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a respiré ; ce qu'il n'a pu faire qu'après sa naissance. C'est une épreuve que la Justice mettoit en usage, lorsqu'il s'agissoit de juger une mere qui étoit accusée d'avoir tué son enfant, & qui se défendoit de ce crime, en soutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a observé

depuis

depuis, qu'en certains cas le poumon d'un fœtus peut surnager ; & que celui d'un enfant nouveau-né peut aller au fond de l'eau ; ce qui rend cette expérience insuffisante pour établir un jugement de cette importance.

X. LEÇON.

Plusieurs Anatomistes * prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans des adultes. Cette observation, qui n'est presque (*a*) point contestée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les esprits les plus crédules. Telle est l'histoire du Jardinier (*b*) de Troningholm de Suede, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & sous la glace, sans avoir été noyé ; telle est celle d'un certain Laurent Jonas qui y resta, dit-on, sept semaines sans mourir :

* *Hist. de l'Ac. des Sc.* 1700, p. 40.

(*a*) Chefelden célebre Anatomiste de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, se sont trompés, en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Théol. Phys. liv.* 4. *chap.* 7. *rem.* 15.

(*b*) Une personne du pays, distinguée par sa naissance & par un goût décidé pour les Sciences, m'a assuré que ce fait passe constamment pour vrai en Suede ; mais que c'est à Stromsholm, séjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il est arrivé.

X. LEÇON.

l'une & l'autre ſont rapportées par Pecklin * ſur des témoignages qui paroiſſent authentiques. Je ſens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant, s'il eſt vrai qu'on puiſſe vivre autant que le ſang peut circuler, que la circulation ſe faſſe librement ſans reſpirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou ait été obſervé dans des adultes, ſeroit-il impoſſible qu'il ſe rencontrât de ces faits extraordinaires ?

* *De aëriis & alim. conf. c.* 10.

On croira plus facilement ce que l'on raconte de pluſieurs perſonnes qui ont été étranglées par ordre de la Juſtice, ou autrement, & qui ont été trouvées vivantes, après avoir été détachées de la potence : ces exemples ſe rencontrent plus fréquemment, & pluſieurs ſont ſuffiſamment atteſtés. Cependant il paroît qu'il y a plus de cauſes de mort dans les pendus que dans les noyés ; la ligature du col qui contraint les vaiſſeaux, les efforts qui ſe font ſur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute, les coups & les différents mouvements que l'e-

xécuteur emploie pour hâter le supplice : si malgré tout cela il se trouve encore de temps en temps quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (*a*), je serois tenté de croire qu'on pourroit sauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de temps dans l'eau, que l'on juge morts sur des signes assez souvent équivoques, ou que l'on acheve de faire périr par des secours mal entendus. J'appelle secours mal entendus, de les tenir suspendus, la tête en bas, & souvent dans un air froid; il seroit mieux d'essayer à ranimer le sang par une chaleur douce, par des liqueurs spiritueuses, par des frictions, & de les tenir dans une situation naturelle & commode (*b*); car ils ont avalé peu

(*a*) Ces sortes de suppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement à trop peu duré, pour éteindre entiérement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de serrer les anneaux de la trachée, a porté son effort sur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui est capable d'une très-grande résistance dans certains sujets; au moyen de quoi la respiration n'a point été entiérement interrompue.

(*b*) On prétend que la cendre de bois neuf

X. LEÇON.

d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschenbroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'athmosphere, & ces animaux pour la plupart y ont péri en 5 ou 6 heures : on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur corps, & celui qui les environnoit, & qu'ils n'eussent eu beaucoup plus à souffrir encore, s'ils eussent été mis dans un air excessivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condensation ait été la principale cause de leur mort, lorsqu'on saura que des animaux des mêmes especes ne vivent guere plus long-temps dans

appliquée pendant quelque temps sur tout le corps du noyé, peut le rappeller à la vie.

un air qui a la densité & la température de l'athmosphere, s'il lui manque seulement d'être renouvellé. X. LEÇON.

C'est un fait constaté par l'expérience, & que les Physiciens expliquent de diverses façons. Les uns prétendent (& c'est le plus grand nombre) que l'air qui a été respiré, est chargé des vapeurs & des exhalaisons dont il a purgé le viscere, & qu'il ne peut plus être respiré en cet état, sans causer une surabondance de ces parties nuisibles qui arrêtent la circulation, & qui suffoquent l'animal. Les autres pensant avec raison que l'air n'est propre à la respiration qu'autant qu'il est élastique, croient qu'il perd une grande partie de son ressort, par le séjour qu'il fait dans les poumons, ou dans les vaisseaux sanguins; & qu'ainsi, pour le respirer sainement, il faut, ou qu'il se renouvelle, ou qu'il soit purgé des parties hétérogenes dont il paroît visiblement chargé au moment de l'expiration. On peut consulter à ce sujet tout ce qui est rapporté par M. Hales dans sa *Statique des végétaux*, c. 6. *Exp.* 107. *& suiv.* où l'on trouvera des

observations fort curieuses.

X. LEÇON.

Quoi qu'il en soit, c'est agir prudemment que de ne se point exposer dans un air que l'on soupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaisons, sur-tout de celles qui sont sulfureuses. Les cloaques qui ont été long-temps fermés, les souterreins qui avoisinent les minieres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans lesquels fermentent les vins nouveaux, ou la biere, sont extrêmement dangereux. * On en peut juger par cette fameuse grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute sans être suffoqué ; par cet accident aussi funeste que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un Boulanger, où sept personnes furent étouffées subitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braise ; enfin par quantité d'ouvriers qu'on sait avoir péri de cette maniere, soit en fouillant des fosses, soit en nettoyant de vieux puits. L'usage des poëles même peut être pernicieux, sur-tout dans les commencements, lorsqu'ils sont de fer ou de cuivre,

* *Camerarius, in Ep. Taurinensibus.*

* *Hist. de l'Ac. des Sc.* 1710, p. 71.

& qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal ſur-tout peut jetter dans l'air des exhalaiſons très-nuiſibles.

Non-ſeulement on doit éviter cet air empoiſonné, dont les effets ſont ſi prompts, mais la prudence pourroit aller juſqu'à purifier, ou renouveller au moins celui qu'on eſt obligé de reſpirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaiſſeaux, pour des ſalles de ſpectacles, pour des mines, pour des Hôpitaux ? Pluſieurs Phyſiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec ſuccès. Je crois même que des perſonnes qui reſtent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enveloppés de rideaux fort épais, & qui ſe ferment fort exactement ; car il n'eſt pas ſain de demeurer ſi long-temps dans une petite maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point aſſez, & dont la pureté ne ſauroit manquer d'être fort altérée, par la tranſpiration inſenſible & par la reſpiration.

* *Deſaguil. Tranſ. Phil. n. 407. Hales, deſcrip. du Ventilateur, par le moyen duquel, &c. traduit en Fr. par M. Demours.*

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut re-

X. LEÇON.

nouveller, il n'eſt pas douteux qu'on ne le dût faire avec ſoin dans bien des occaſions ; & nous ſerions trop heureux, s'il ne s'agiſſoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faiſons de celui des poiſſons ; ſi l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poiſſon ? & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de temps ? A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les ſymptômes ſont les mêmes dans des ſujets qui vivent tout différemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Payſan, &c. eſt-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempérament ? n'eſt-ce pas plutôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils reſpirent tous en commun ? ne voit-on pas ces ſortes de contagions ſe communiquer ſouvent, ou ſe diſſiper par les vents, ou par d'autres changements qui arrivent dans l'athmoſphere ?

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell ſe ſervoit, dit-on, pour purifier l'air dans une eſ-

* *Exp. phyſico-mechan. Exp. 14.*

pece

pece de vaiſſeau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux ; (car on ſavoit déjà qu'un air qui avoit été reſpiré, devenoit en peu de temps incapable de l'être davantage :) on trouve des Auteurs* qui diſent avoir vu le vaiſſeau, qui l'ont même imité avec peu de ſuccès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cètte invention. Mais pour la liqueur, qui mériteroit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages ſi le ſecret n'en étoit point mort avec ſon auteur, perſonne ne dit l'avoir vue, & je crois qu'il eſt très-permis de douter au moins de cette merveille.

* *Papin, Rec. de diverſes pieces, &c. édit. de 1695.*

Si l'on peut ſe flatter de purger l'air, je penſe qu'on n'y parviendra que par une ſorte de filtration, en l'obligeant de paſſer par quelque matiere où il puiſſe dépoſer ce qu'il contient d'étranger : mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, ſoit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoiſſance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, &

X. LEÇON.

d'obſervations bien méditées ; mais l'objet eſt important, & pluſieurs habiles maîtres * ont déjà fait à cet égard quelques eſſais qui flattent nos eſpérances : c'eſt en cédant à cette conſidération, que j'ai hazardé de propoſer un inſtrument pour laver l'air, & pour recueillir les matieres dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année* 1741, *page* 335 *& ſuiv.*

* *Hales, Stat. des vég. chap. 6, exp. 116. Muſchenbrock, orat. de meth. Exper. Phyſ. p. 28.*

Il y auroit encore bien des choſes à dire des propriétés de l'air, & de ſes uſages par rapport à la reſpiration & à la maniere dont il influe ſur la vie des animaux ; mais ces détails quelqu'intéreſſants qu'ils ſoient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité où l'on auroit entrepris de faire entrer tout ce qui eſt connu touchant ce fluide : les bornes que je me ſuis preſcrites dans ces leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage ſur cette partie, je paſſe à une autre propriété de l'air, qui eſt encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matieres les plus combuſtibles ne peuvent

s'enflammer que dans un air libre ; & que quand elles le ſont, elles s'éteignent promptement dans le vuide.

XII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut placer ſur la platine d'une machine pneumatique, & ſous un grand récipient, une groſſe chandelle bien allumée, *Fig.* 30, & faire agir la pompe.

EFFETS.

A meſure qu'on raréfie l'air, la flamme diminue de volume, & après quelques coups de piſton, elle s'éteint tout-à-fait.

XIII. EXPÉRIENCE.

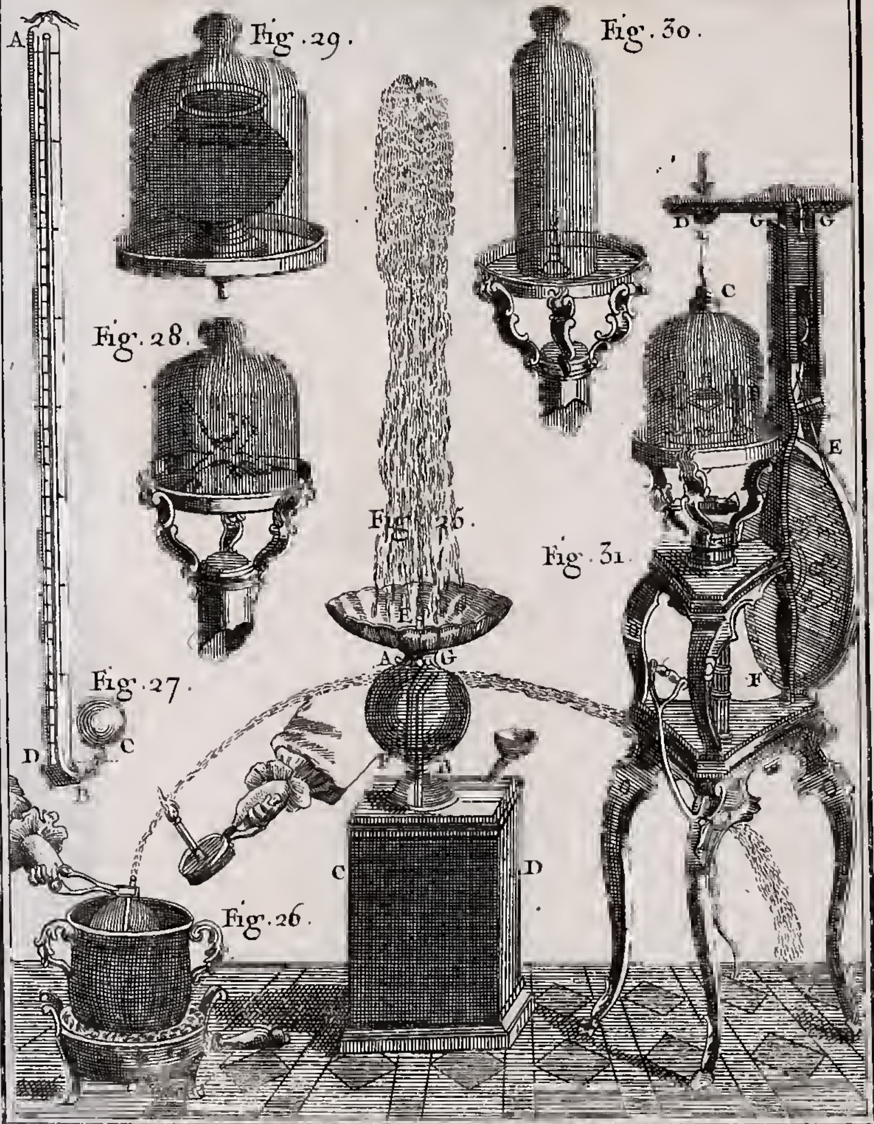
PRÉPARATION.

A, *B*, *Fig.* 31, ſont deux pierres à fuſil portées par deux petits montants à reſſort, qui ſont établis ſur la platine d'une machine pneumatique, par le moyen d'un petit chaſſis de métal, qui eſt fixé au centre, & dans lequel ils gliſſent pour s'approcher plus ou

moins l'un de l'autre ; *C*, eſt une de ces boîtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrêmité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande roue *EF*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient, & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

EFFETS.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes : à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes ; lorſque l'air arrive à ſes derniers degrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur


Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 28.
Fig. 25.
Fig. 31.
Fig. 27.
Fig. 26.
A
D
C
B
E
G
F



rouge & morne : enfin quand le vuide est aussi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune; mais elles recommencent à paroître aussi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Dans un grand récipient, *Fig.* 32, garni, comme le précédent, d'une boîte à cuirs, on établit de la même maniere que les pierres à fusil, un petit chassis de métal, dans lequel se meut sur deux pivots la petite phiole de verre *H*; on met dans ce petit vaisseau quelques grains de poudre à canon, & au centre de la platine, sur un morceau de tuile ou de brique, un vase fort épais de cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer jusqu'à rougir : on fait le vuide promptement, & lorsque l'air est extrêmement raréfié, en abaissant la tige *I*, on appuie sur le goulot de la phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vase ardent.

X. LEÇON.

EFFETS.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire ſon exploſion ordinaire, ſe diſſipe en fumée & ſans éclat, ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante.

EXPLICATIONS.

C'eſt une opinion reçue en Phyſique, que la flamme conſiſte dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combuſtible, qui ſe diſſipent ſous la forme d'un fluide extrêmement ſubtil. Si l'on admet cette ſuppoſition, que nous examinerons, lorſque nous traiterons de la nature du feu, on conçoit aſſez aiſément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à reſſort, capable d'une réaction qui l'entretienne : ainſi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le reſſort du fluide environnant diminue comme ſa denſité, & que les vibrations de la

flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flamme très-foible, qui périt dans l'instant.

Il est à propos d'avertir cependant que cette derniere épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation ; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent dans le récipient de l'air, ou un fluide qui est élastique comme lui ; & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflammé, & pourroit éclater avec danger.

Les étincelles qui naissent du choc de l'acier contre des cailloux tranchants, sont des particules du métal qui se détachent de la masse par la violence du coup, qui s'échauffent jusqu'à rougir & le plus souvent jusqu'à se fondre ; c'est ce dont il est facile de se convaincre, en les recevant sur un papier blanc que l'on examine ensuite avec un microscope ; car tous

X. LEÇON. ces petits morceaux d'acier paroiſſent comme autant de petites boules fort liſſes, ce qui dénote viſiblement qu'ils ont été mis en fuſion, & qu'ils ſe ſont arrondis comme toutes les matieres liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que pluſieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & repréſentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce ſont celles qui paſſent la fuſion, & qui s'enflamment juſqu'à diſſipation de parties; on les diſtingue aiſément ſur le papier par leur couleur qui eſt plus brune, & parce qu'elles ſont friables comme le mâche-fer.

M. Muſchenbroek, après Boyle, M. Hughens & pluſieurs autres Phyſiciens, a fait une grande quantité d'épreuves ſur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ſes commentaires ſur les expériences de Florence, *page* 74 *& ſuiv*. Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Phyſique; & c'eſt avec regret que je me diſpenſe de les rapporter ici,

APPLICATIONS.

Puisque la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à ressort, on ne doit point être surpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne, lorsqu'on le plonge dans les liqueurs les plus inflammables, comme l'esprit-de-vin & les huiles: & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles sont réduites en vapeurs; car dans ce dernier état elles sont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élastique, capable par conséquent d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation; au lieu que dans l'état de liqueurs elles sont si peu compressibles, qu'on doit les regarder comme dépourvues du degré d'élasticité nécessaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois se consume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre temps, apparemment parce que l'air est plus dense, & qu'il a plus de ressort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de

X. LEÇON.

charbon allumé s'éteint bientôt, s'il eſt expoſé aux rayons du ſoleil, ſurtout pendant l'été.

Que doit-on croire de ces lampes ſépulchrales des anciens, leſquelles, ſi l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant pluſieurs ſiecles ſans s'éteindre? Un feu qui ne conſume point ſon aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne ſe renouvelle point, pleins de vapeurs groſſieres, eſt une merveille dont il faudroit conſtater l'exiſtence, par des preuves plus poſitives que toutes celles qu'on en a, avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plauſible; car ce n'eſt point aſſez qu'il y ait de l'air autour des matieres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air ſoit libre & qu'il ait une certaine pureté: voilà pourquoi les incendies ceſſent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, ſi d'ailleurs leurs parois ſont capables de réſiſter aux efforts de l'air & des vapeurs qui ſe dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entre-

tienne la flamme & anime l'embrasement, cependant le souffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il dissipe les parties de la flamme & qu'il sépare le feu de son aliment: toutes les fois que cette dissipation n'a point lieu, l'inflammation, bien loin de cesser, ne fait qu'augmenter.

Je dois avertir aussi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, sur-tout celles qui doivent naître de la fermentation : car comme les liqueurs propres à cet effet sont d'autant plus actives qu'elles sont moins gênées par le poids de l'athmosphere, leur explosion doit être naturellement plus violente dans le vuide qu'ailleurs; soit qu'elles produisent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le ressort se déploie à l'instant, comme l'ont pensé quelques Physiciens *; soit qu'étant réduites en vapeurs, elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrasement. Quoique je ne désapprouve pas la premiere de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la derniere,

* *Slare, dans les Leç. de Physf. de Cotes, 16. Leç.*

X. LEÇON.

quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées sont capables.

JUSQUES ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide se rencontre aussi dans leur intérieur ; il en remplit les vuides ; il entre pour ainsi dire dans leur composition, comme l'eau d'un étang ou d'une riviere pénetre dans le bois, dans les pierres qui y sont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que soient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps solides, pour la plupart, en ont encore davantage ; & ce qu'il y a d'admirable, c'est que, dans ceux-ci sur-tout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé surpasse assez souvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il est dégagé, & qu'il n'est plus retenu que par le poids de l'athmosphere.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre manieres différentes ; premiérement, en le tenant quelque temps dans le vuide ; secondement, en le

faisant chauffer fortement ; troisiémement, en le divisant & en désunissant ses parties, par voie de fermentation, de dissolution, ou de distillation ; quatriémement enfin, en les faisant passer de l'état de liquidité à celui de solidité, comme lorsqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatrieme, ne dégagent que les parties les plus grossieres de l'air, je veux dire, celui qui est dans les pores les plus ouverts & qui a une disposition plus prochaine à s'étendre & à se dilater. Par le troisieme procédé, on sépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend presqu'inflexibles, & qui ne deviennent sensiblement élastiques, que quand elles se sont réunies plusieurs ensemble pour former des globules un peu plus grossiers : car on peut croire que les petites lames qui composent une masse d'air, ne sont pas des corps simples, mais des petits composés d'éléments plus courts, & qu'elles sont d'autant plus roides qu'elles sont plus divisées, comme une lame d'acier perd de sa flexibilité à mesure qu'on diminue sa longueur. Il peut se faire que

X. LEÇON.

l'air qui entre dans la composition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes, soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires, & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matieres.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice ;* non pas qu'ils aient cru qu'on pût faire de l'air par la conversion d'une matiere en une autre, mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque, & qui est intimement mêlé avec lui, se révivifie ordinairement par le secours de l'art. On peut voir dans les ouvrages mêmes de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matiere, & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire, pour donner une idée de cet air factice, des qualités qu'il a, & des effets dont il est capable.

* *Boyle, experim. Phys. Mech. contin.* 21. *Hales, stat. des végét. chap.* 6, *& dans l'app. expér.* 2 *& suiv.*

XV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps ſolide & fort poreux, de maniere qu'il ſoit entiérement plongé ; ce qui ſe fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, ſi les matieres qu'on doit plonger ſont plus légeres que l'eau. On couvre le tout d'un récipient ſur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

EFFETS.

A chaque coup de piſton, on peut remarquer qu'il ſort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé ; & lorſqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une ſimple immerſion.

EXPLICATIONS.

L'air qui eſt renfermé dans les po-

X. LEÇON.

res du bois, de la pierre, &c. eſt pour le moins auſſi denſe que celui de l'athmoſphere dont il a coutume de ſoutenir le poids : quand on ſupprime cette preſſion, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air ſe dilate en vertu de ſon reſſort, ſon volume augmente, & ne pouvant plus ſe loger dans ces petits eſpaces où il eſt, il s'échappe dans l'eau, & devient viſible ſous la forme de petits globules, qui s'élevent promptement à cauſe de leur légéreté reſpective.

L'air qui paſſe du corps ſolide dans l'eau qui l'entoure, ſe met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui ſe trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à ſe mêler, apparemment parce que ſes parties également preſſées de toutes parts tendent à un centre commun. Je ſais bien qu'on objecte contre cette raiſon, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent arrondies dans le vuide de Boyle ; mais je ſais bien auſſi que ce vuide n'en eſt point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'eſt que la preſſion y ſoit moindre qu'ailleurs :

qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une preſſion plus ou moins grande, que d'une preſſion égale de toute part, qu'on ne ſauroit nier dans un vaiſſeau où l'on fait que l'air groſſier n'eſt que raréfié, & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait ſortir par le moyen de la pompe.

Lorſqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet ſe trouve plus comprimée qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuie par conſéquent davantage ſur toute la ſuperficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci, obéiſſant à cette nouvelle preſſion, ſe reſſerre dans un moindre eſpace, & l'eau va occuper les vuides qu'il a laiſſés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroiſſent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On place, ſous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet

X. LEÇON.

de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de biere, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiede, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A mesure que l'air du récipient se raréfie, celui qui est contenu dans la liqueur se dégage, & s'éleve à la surface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'esprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque temps ; & si l'on continue de faire le vuide, cet effet cesse enfin, & l'on ne voit plus sortir d'air : la biere & le lait s'élevent en mousse, & se répandent hors du vaisseau. *Voyez la Fig.* 34.

EXPLICATIONS.

C'est encore en supprimant la pression de l'air extérieur qu'on donne lieu à celui qui est répandu dans la liqueur de se dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & sa légéreté respective, plus puissante alors que le frottement & les autres causes qui ten-

dent à le retenir, ne manque pas de l'élever vers la ſurface.

Plus la liqueur eſt facile à diviſer, plus les bulles d'air s'élevent promptement, plus elles s'aggrandiſſent auſſi, parce qu'elles trouvent moins de réſiſtance à vaincre, pour s'étendre : c'eſt pourquoi lorſque le récipient eſt évacué à un certain point, l'eſprit-de-vin & l'eau tiede qui ſont très-fluides, laiſſent tout d'un coup échapper leur air qui les ſouleve en gros bouillons. La biere & le lait au contraire étant des liqueurs viſqueuſes, ne ſe diviſent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de véſicules, & ne s'élevent que lentement ; & comme ces véſicules ne ſont autre choſe que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à ſe ſéparer, les bulles d'air, en les emportant, vuident le vaiſſeau.

APPLICATIONS.

Bien des perſonnes s'imaginent que tous les corps généralement ſe conſervent très-long-temps dans le vuide ; mais il y a beaucoup à rabattre de ce

X. LEÇON.

préjugé. Il eſt vrai que ceux qui ſont de nature à ſe décompoſer par l'évaporation d'une partie de leur ſubſtance, ou à ſe corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périſſent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne ſont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un abſorbant, & qui eſt toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en eſt point ainſi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car, premiérement, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement inteſtin de leurs parties n'en devient que plus libre ; ſecondement, cette liberté augmente encore par la ſupreſſion du poids ou du reſſort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matieres de cette derniere eſpece ſe conſerveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

* Tome II. page 121 & ſuiv.

Le vin de Bourgogne qui a paſſé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne ſeroit-ce point parce qu'il auroit un peu

travaillé en paſſant ſur les hautes montagnes où la preſſion de l'athmoſphere étant moins grande qu'elle ne l'eſt dans la plaine, a pu donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit ſoupçonner, c'eſt qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près ſemblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajouter cependant que pluſieurs perſonnes dignes de foi m'ont aſſuré que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, eſt ſujet à de pareils changements : le même effet peut être produit par différentes cauſes.

L'air qui ſe dégage d'une liqueur en augmente néceſſairement le volume juſqu'à ce qu'il en ſoit entiérement ſorti, parce que les globules inſenſibles qui étoient logés dans les pores, ſe réuniſſant pluſieurs enſemble, forment des maſſes plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que ſi l'eau qu'on fait entrer, comme on ſait, ſans

X. LEÇON.

difficulté dans un verre plein de cendres ou de ſable, ſe convertiſſoit tout d'un coup en pluſieurs petits glaçons de la groſſeur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matieres ne pourroient plus être contenues dans le même vaſe. L'air ſe dégage auſſi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume, fait ſouvent caſſer les vaiſſeaux qui les contiennent.

Il eſt inutile de propoſer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire ſortir l'air d'une matiere, en la faiſant chauffer fortement; nous avons tous les jours ſous les yeux aſſez d'exemples de cette ſeconde méthode, dans la préparation de nos aliments; on entend, & l'on voit même ſortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus groſſieres de l'air, qui, dilatées par la chaleur dans un fluide qui ſe dilate lui-même, augmentent en volume, & ſoulevent

avec violence ce qui s'oppoſe à leur extenſion & à leur aſcenſion. Je dis les premiers bouillons, car je ferai voir, en parlant du feu & de ſes effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir juſqu'à ce qu'elle ſoit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air aſſez conſidérable pour fournir juſqu'à la fin. Mais quand l'air ſort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide; les bulles qui ſe forment ont d'autant plus de peine à ſe dégager, que la matiere qui les enveloppe eſt plus difficile à rompre ou à étendre : elles ſe dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les dilater, agit plus long-temps ſur chacune, & en même temps ſur un plus grand nombre; c'eſt pourquoi ces ſortes de liqueurs, le beurre, les réſines & les gommes fondues, ſe gonflent peu-à-peu, & ſurprennent, par des effervesſcences ſubites & aſſez ſouvent dangereuſes, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

A-peu-près comme l'eau ſort d'une

X. LEÇON.
éponge mouillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matieres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'athmosphere, celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même, & qui empêche par cette raison qu'on ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'assurer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gelent, se dessaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent, à mesure que leurs parties se rapprochent ; & quand cet air qui étoit disséminé dans les pores en particules insensibles, s'en trouve exclu, il se rassemble en plusieurs bulles, & prend différentes formes dans la masse, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénomenes de la glace ; mais il sera temps d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différents états.

Le

Le dernier procédé, & celui qui est peut-être le plus efficace de tous, pour séparer l'air des matieres avec lesquelles il se trouve mêlé, c'est la division de leurs parties, sur-tout si cette division va jusqu'à les décomposer, comme il arrive ordinairement lorsqu'on fait putréfier, fermenter, distiller, ou brûler les corps mixtes.

X. LEÇON.

Que la quantité d'air que l'on tire ainsi, égale presque le volume des corps d'où il sort, c'est une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & soumis au poids de l'athmosphere, surpasse un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le contenoient, c'est ce qu'on ne peut apprendre sans étonnement; & l'on seroit tenté d'en douter, si les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs témoignages sur un détail bien circonstancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus décisives; c'est dans leurs écrits que j'ai puisé les preuves suivantes: le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs

X. LEÇON.

ſources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établiſſent de concert la doctrine que je viens d'expoſer.

XVII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 35 repréſente une taſſe de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une groſſe goutte d'eau; on verſe enſuite de l'huile d'olives, juſqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vaſe de verre qui a la forme & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il ſoit plein d'huile, ce qu'il eſt aiſé de faire en l'inclinant dans la taſſe avant que de le placer debout.

EFFETS.

Si l'on tient la taſſe ſur une bougie ou ſur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau, 1° Il s'en éleve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorſque tout eſt refroidi, occupent dans le vaſe de

verre, un eſpace plus grand (a) que le volume de la goutte d'eau d'où elles ſont ſorties: 2° L'huile qui reſte dans le petit vaſe de verre, perd ſa tranſparence, en ſe refroidiſſant.

EXPLICATIONS.

A meſure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervalles qui ſont entr'elles, ſe dilatent, les particules d'air qui ſe trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légéreté reſpective ſuffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie ſupérieure du petit vaſe de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette ſéparation, c'eſt que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate auſſi les petites bulles d'air, & leur volume conſidérablement augmenté les rend d'autant plus légeres, & par conſéquent d'autant plus propres à s'élever au-deſſus de l'eau & de l'huile. On peut

(a) M. Mariotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aie répété cette expérience bien des fois, & avec ſoin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vaſe.

X. LEÇON.

ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuent d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y élève la vapeur de l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumiere : soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément, soit que ses parties deviennent trop grossieres. Cette derniere raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend presque sa premiere transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumiere un passage plus libre.

XVIII. EXPÉRIENCE.

X. LEÇON.

PRÉPARATION.

La préparation de cette expérience ſe fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté ſeulement qu'on emploie des vaſes plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiede un petit cylindre de ſucre commun, égal à la partie *A B*, priſe intérieurement. *Fig.* 35.

EFFETS.

A meſure que le ſucre ſe fond dans l'eau, on en voit ſortir des bulles d'air qui s'élevent vers la partie ſupérieure du vaiſſeau ; & lorſque la diſſolution eſt faite, la quantité d'air qui s'eſt élevée égale aſſez ſouvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de l'eſpace *A B*.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant le ſucre, déſunit ſes parties, & les ſubdiviſe ; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme iſolées, s'élevent à travers de

X. LEÇON.

l'eau qui eſt toujours beaucoup plus peſante. La quantité de ces particules d'air varie ſelon la qualité du ſucre, & la ſolution plus ou moins parfaite de ſa maſſe: mais on peut toujours comparer le volume d'air qui eſt ſorti, à celui du ſucre qu'on a fait fondre, puiſque l'eſpace *A B* ſert de meſure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut joindre la cornue *A B*, *Fig.* 36, dans laquelle on aura mis quelque matiere à diſtiller, au matras *AC*, avec quelque eſpece de lut qui ne ſe fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne ſe diſſolve point non-plus par une légere humidité. Ces deux vaiſſeaux étant ainſi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du ſiphon *E D F*, par un trou pratiqué au fond du vaiſſeau; on plonge enſuite le matras & le ſiphon dans l'eau, afin que le premier s'empliſſe par *D*, juſqu'à la hauteur *F*; ce qui ſe fait aiſément par le moyen du ſiphon, qui permet à l'air de s'échapper : on ôte

ensuite ce siphon, & l'eau demeure suspendue à la hauteur *F*, par la pression de l'athmosphere qui agit sur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue, en la posant sur un fourneau disposé à une hauteur convenable. Si les matieres que l'on distille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui est renfermé en *A F*, augmente; si au contraire elles en absorbent, comme il paroît en certains cas, on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé, à celle des matieres qu'on a mises dans la cornue, on le peut facilement en réduisant à une mesure connue, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornue : car après la distillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air, en plus au-dessous, ou en moins au-dessus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer, ne doit l'être que quand tout est refroidi au même degré que l'étoit celui de la partie *A F*, au moment

que l'on a commencé l'expérience ; car on ſait combien quelques degrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimenſions de ce fluide ; & pour n'avoir point d'erreur conſidérable à ſoupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermometre très-ſenſible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, ſi l'on veut procéder avec exactitude, c'eſt de conſulter la hauteur du barometre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'aſſurer ſi le poids de l'athmoſphere n'a point varié pendant l'opération : car il eſt certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, ſelon que l'eau y ſera pouſſée plus ou moins haut par la preſſion de l'air extérieur ſur la ſurface du bacquet.

Enfin s'il s'agiſſoit d'une exactitude ſcrupuleuſe, on devroit conſidérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-deſſus du niveau, ou qui eſt portée au-deſſous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne ſoit jamais d'une denſité

parfaitement égale à celle de l'air extérieur ; mais heureusement dans la plûpart de ces épreuves, on peut se contenter d'un à-peu-près, & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minucies, pour n'être point découragé dans ses recherches.

EFFETS.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matieres animales, végétales & minérales, solides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de sang de cochon, distillé jusqu'aux scories seches, produisoit 33 pouces cubiques d'air.

* *Stat. des Vég. chap. 6.*

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim, donnoit 117 pouces cubiques d'air, ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiere distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre

vierge, il vint à la diſtillation 43 fois autant d'air.

Le même Auteur trouva que l'eau-forte, le ſoufre, & pluſieurs autres matieres, bien loin de rendre de l'air, en abſorboient ; c'eſt-à-dire, qu'après la diſtillation, le volume d'air contenu en *A F*, ſe trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

EXPLICATIONS.

Lorſqu'on diſtille une matiere, l'action du feu diviſe ſes parties, les réduit, & les éleve en vapeurs. Les particules d'air qui ſe trouvent dans la maſſe demeurant iſolées par ſa diviſion, & par ſon évaporation, s'uniſſent avec le volume d'air qui eſt renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume eſt d'autant augmenté : delà il arrive que la ſurface de l'eau baiſſe communément au-deſſous de *F*.

Mais ſi la matiere que l'on diſtille eſt de telle nature que l'air s'uniſſe à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-ſeulement cette matiere ne ſe deſſaiſit point des particules d'air qu'elle

contient ; mais acquérant plus de ſurface par ſa diviſion, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en paſſant par l'eſpace *A F*, & l'eau s'éleve d'autant, pour occuper la place de l'air abſorbé.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'eſt qu'il puiſſe ſe loger une ſi grande quantité d'air dans certaines matieres, ſans qu'il y paroiſſe comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, ſi l'on vouloit le réduire à un auſſi petit volume, lorſqu'une fois il eſt dégagé ; car quelle force ne faudroit-il pas pour reſtreindre dans l'eſpace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air ſemblable à celui de l'athmoſphere ?

Ce phénomene nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matieres, y eſt dans un état tout différent de celui où nous le voyons lorſqu'il en eſt dégagé ; quel eſt donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps ? & comment en reçoit-il un autre lorſqu'il ſe dégage ?

On peut ſuppoſer, comme l'ont fait pluſieurs habiles Phyſiciens * de nos jours, que les parties de l'air,

* *M. de Mairan, Differt.*

X. LEÇON. *Sur la glace.*

lorſqu'il eſt intimement mêlé à quelqu'autre matiere, ne ſe touchent plus; & qu'elles ſont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui envelopperoient, par exemple, des grains de ſable, ou qui feroient logés ſéparément dans les intervalles qui ſe trouveroient à remplir entre ces mêmes grains raſſemblés en une maſſe: car quoique pluſieurs brins de coton enſemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un eſpace aſſez ſenſible, à cauſe de tous les vuides qui ſont partie de ſon volume, on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par ſa matiere propre, & ſi ſes vuides remplis d'une autre ſubſtance ne contribuoient plus à ſa grandeur. On doit convenir auſſi que ſa flexibilité, & par conſéquent ſon reſſort, feroit nulle, ſi chacun de ces petits filets étoit ſoutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, ſi l'eſpace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiere ſolide.

Mariotte, Eſſais ſur la nature & les propriét. de l'air.

Cette hypotheſe eſt d'autant plus vraiſemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compreſſibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'eſprit-de-vin des thermometres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins ſenſible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en ſont pas moins compreſſibles, quoiqu'on en ait vu ſortir une quantité d'air aſſez conſidérable. L'air dans l'intérieur des corps, eſt donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de reſſort, s'il emporte avec lui quelque ſubſtance étrangere qui l'empêche de ſe joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'eſt que dans ce dernier état qu'il peut être flexible & élaſtique.

X. LEÇON.

* *Voyez les Mémoires de l'Ac. pour l'année 1731, p. 267.*

Ce raiſonnement, je l'avoue, eſt fondé ſur des faits inconteſtables ; mais il en eſt d'autres, qui ne ſont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raiſonner tout autrement ; lorſqu'une matiere paſſe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un diſſolvant diminue, ou fait

X. LEÇON.

ceſſer la cohérence de ſes parties, on voit auſſi-tôt l'air s'en dégager ; ne devons-nous pas penſer que cet air étoit dans l'état d'un reſſort tendu, & qu'il n'attendoit pour ſe déployer que la ſuppreſſion des obſtacles qui l'en empêchoient ?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phénomenes qui ſemblent ſe contredire : l'air, dans la plupart des corps, ſe trouve ſous deux états différents ; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent enſemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'athmoſphere a condenſées, & qui, par la continuité de leurs parties, ont conſervé la faculté de s'étendre & de ſe porter en dehors, lorſque la preſſion extérieure vient à ceſſer ; l'autre air beaucoup plus diviſé, ne remplit que des pores iſolés plus petits, & la matiere qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élaſticité. Pour dégager le premier, il ſuffit ou d'augmenter fortement ſon reſſort par la chaleur, ou de lever l'obſtacle qui le tient tendu : ces deux moyens ſont faciles ; premiérement, par-

ce que le reſſort de l'air s'anime d'autant mieux que ſon volume eſt plus grand ; ſecondement, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes ſont ouverts juſqu'à la ſurface. Il n'en eſt pas de même de l'autre air, il faut, pour l'extraire, diviſer le corps juſques dans ſes moindres parties ; & comme on ſuppoſe ce fluide réduit preſque à ſes premiers éléments, on ne doit rien attendre de ſon reſſort, pour aider cette ſéparation.

A l'aide de cette ſuppoſition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compreſſibles les matieres avec leſquelles il eſt mêlé, quoiqu'il y jouiſſe de ſon élaſticité ; car 1° ſi les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore s'y trouvent contenus comme dans une gaîne, dont les parties ſolides ſe ſoutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conſéquent le corps entier qui n'eſt qu'un aſſemblage de ces tuyaux, ne ſera ni plus ni moins compreſſible, ſoit que ſes pores ſoient

X. Leçon.
remplis d'air, ſoit qu'ils en ſoient vuides. 2° Si ces colonnes d'air moulées dans les pores ſont compoſées de globules fort petits, comme on le doit ſuppoſer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu; & leur accroiſſement n'excédera pas ſenſiblement celui des pores qui ſe dilatent auſſi par le même degré de chaleur: ainſi la maſſe totale ne ſera ni plus ni moins dilatable, ſoit qu'elle contienne de l'air élaſtique, ſoit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de reſſort, parce qu'il eſt extrêmement diviſé, n'en a-t-il point en effet? Ses parties, au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne ſeroient-elles pas plutôt repliées ſur elles-mêmes autant qu'il eſt poſſible qu'elles le ſoient? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorſqu'il ſe développe, occupe une place incomparablement

incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raiſon pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume ſi conſidérable qu'il excede deux ou trois cens fois celui dont il faiſoit partie. La nature a pu ſe ménager des moyens pour reſtreindre ainſi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la compoſition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en ſoit la cauſe, eſt une puiſſance qui peut ſuffire pour réſiſter à ſa réaction.

Une raiſon que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuſe extenſion de l'air extrait, c'eſt que cet air n'eſt point pur ; c'eſt un fluide compoſé, qui tient beaucoup des matieres d'où il ſort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il eſt capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plupart des végétaux, éteint le feu, ſuffoque les animaux, & ſe fait ſentir par une odeur pénétrante * ; il eſt donc évident que cet air eſt chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de ſon volume, & l'on ſait d'ailleurs que toutes les ſubſtances qui s'é-

* *Boyle, Exper. Phyſ. Mech. continuat. 2. Hales, ſtat. des végét. p. 152.*

X. LEÇON.

vaporent, s'étendent prodigieuſement ; ainſi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui ſortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, ſe réduiroient vraiſemblablement à une quantité bien moins grande, ſi l'on en ſéparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

APPLICATIONS.

Les aliments tant ſolides que liquides qui entrent dans l'eſtomac, s'y décompoſent par la digeſtion ; ils ſe deſſaiſiſſent par conſéquent de l'air qu'ils contiennent ; cet air ainſi dégagé ſe raſſemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus conſidérable, non-ſeulement parce qu'il ſe développe & s'étend lorſqu'il eſt libre, comme on l'a vu par les expériences précédentes ; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur aſſez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que ſa maſſe eſt plus ample.

Si l'air qui ſe dégage ainſi des aliments dans l'eſtomac, ne trouve point d'iſſue libre pour en ſortir, il preſſe & diſtend les parties qui le retiennent, & ſes efforts font naître quel-

quefois des douleurs aſſez vives, que l'on nomme *coliques de vents*.

Lorſque rien ne s'oppoſe à ſon paſſage, il ſort par la bouche, & cauſe ces rapports le plus ſouvent déſagréables & plus ou moins fréquents, ſelon la quantité des aliments qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations ou la diſpoſition actuelle de l'eſtomac qui les digere.

Ces rapports déplaiſent preſque toujours, quoique l'on ait mangé ou bu des ſubſtances qui ſoient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables : c'eſt que la digeſtion les décompoſe, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits : or dans les aliments les plus ſains, il y a des parties, qui lorſqu'elles ſont ſéparées des autres, ſont capables d'affecter nos ſens d'une maniere déplaiſante ou même dangereuſe. Le pain & la pâte de froment, le raiſin & les autres fruits, &c. ſont du goût de tout le monde, & ne nuiſent point au commun des hommes; cependant l'air qui en ſort, quand on les fait fermenter, eſt infect & mortel.

Un eſtomac ſurchargé d'aliments,

X. LEÇON.

eſt plus incommodé qu'un autre de ces ſortes d'exhalaiſons ; on en voit aſſez la raiſon. Mais la qualité & la préparation ſont deux choſes qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs ſpiritueuſes & fermentées comme le vin, la biere, &c. & tous les aliments cruds, portent avec eux une très-grande quantité d'air ; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, ſi l'on n'en uſe avec modération.

Un uſage modéré des aliments ne garantit pas même toujours des rapports d'eſtomac ; on voit des perſonnes précautionnées & ſobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'eſt qu'alors il y a ſans doute quelqu'humeur vicieuſe qui occaſionne une mauvaiſe digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès ; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les aliments ſont plus diviſés ; ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digere trop ; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la Faculté.

En certain temps de l'année le vin & la biere travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'eſt-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, ſur-tout ſi ces liqueurs ſont remuées ou placées dans des lieux qui ne ſoient pas aſſez frais. Ces mouvements inteſtins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de ſe dégager & de monter à la ſurface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorſqu'il étoit diviſé & logé dans les pores, il ſort avec impétuoſité, dès qu'on débouche les vaiſſeaux, & ſes efforts vont même juſqu'à les faire crever, lorſqu'on néglige de lui ouvrir un paſſage.

Dans les laboratoires de chymie, les Artiſtes ont grand ſoin de laiſſer une iſſue à l'air, quand ils lutent leurs vaiſſeaux ; l'uſage leur a appris que ſans cette précaution, les ballons ſont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la maſſe d'air qu'on a laiſſé enfermée dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cauſe y contribue : mais la rupture

X. LEÇON.

des vaiſſeaux vient principalement de la quantité d'air qui ſort de la plupart des matieres qu'on diſtille ; car pour l'ordinaire, le ballon eſt capable de réſiſter aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y ſouffre qu'un degré de chaleur aſſez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vaſe, au bord d'une riviere ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la ſurface de l'eau ; cet air vient ſans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui ſe ſont amaſſés & pourris au fond ; il demeure engagé dans la boue juſqu'à ce qu'on lui ouvre une iſſue.

Si l'on fait ſortir l'air d'une matiere, ſans déſunir les parties de ſa maſſe, en la plaçant, par exemple, dans le vuide ; dès qu'on l'expoſe enſuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à peu près comme une éponge qui ſe remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir preſſée. M. Mariotte * s'eſt aſſuré du fait par une expérience

* *Eſſai ſur la nature & les propriétés de l'air.*

aussi simple qu'ingénieuse. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faisant bouillir; & en la mettant ensuite quelque temps dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renversa dans un vase plein d'eau, sans la boucher, en observant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la grosseur d'une aveline; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit saisie; ce qui s'est passé à l'égard de l'eau, arriveroit sans doute à toute autre matiere; on pourroit tout-au-plus soupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le temps qu'il met à rentrer.

Des expériences d'un autre genre auxquelles j'étois occupé, ayant exigé que je susse avec plus de précision, en combien de temps l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la suppression du poids de l'athmosphere, je fis l'expérience qui suit.

X. LEÇON.

XX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A, *Fig.* 37, eſt une carafe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité; je la bouche avec du liege, que je couvre enſuite d'une couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine; à travers de ce bouchon je fais paſſer le bout du tuyau de verre *BCD*, qui eſt recourbé en deux ſens oppoſés, & dont la partie *CD* attachée ſur une planche graduée en pouces & en lignes, eſt ſoutenue verticalement ſur un pied. Je fais encore paſſer à travers du même bouchon le tube d'un thermometre, dont la boule eſt en partie plongée dans l'eau de la carafe. Je place enſuite cette même carafe dans un ſeau qui eſt rempli d'eau, ainſi que la partie *CE* du tuyau; je marque alors avec un fil *K*, la hauteur du thermometre, & j'obſerve au barometre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience.

Tout

Tout étant ainſi diſpoſé, je remarque de 12 en 12 heures l'aſcenſion de l'eau dans le tuyau au-deſſus du point *E* ; & pour être sûr que l'air eſt toujours d'une égale denſité entre l'eau du tuyau & celle de la carafe, à chaque obſervation, je prends ſoin, 1° de rappeller le bain du ſeau *GH* à ſa premiere température, en le réchauffant ou en le refroidiſſant juſqu'à ce que la liqueur du thermometre revienne, & ſe fixe au fil *K*. 2° Je vois de combien le mercure a hauſſé ou baiſſé dans le barometre : & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute ou je les diminue dans la partie *CD* du tuyau, afin que la preſſion de l'athmoſphere demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'éleve au-deſſus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la carafe ; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en meſurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la carafe ſurpaſſe celle qui

s'eſt élevée au-deſſus du point *E*.

X. Leçon.

EFFETS.

En procédant ainſi j'ai obſervé : 1° Que l'eau du tuyau s'eſt élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-deſſus de *E* :

2° Que le progrès de ſon aſcenſion a toujours été en diminuant, de façon que dès le ſixieme jour il étoit preſqu'inſenſible ;

3° Que la ſomme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à peu près la trentieme partie de celle de la carafe.

EXPLICATIONS.

La maſſe d'eau qui eſt dans la carafe, eſt à l'égard de l'air qui eſt contenu au-deſſus, à peu près comme un corps ſpongieux que l'on a preſſé ou deſſeché, & que l'on applique à la ſurface de quelque liqueur; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, abſorbent le fluide qui s'y préſente, & qui eſt encore aidé par la preſſion de l'athmoſphere qui agit en *D*. Mais comme l'air eſt compoſé de parties rameuſes, ou

de petites lames tortillées, ce n'eſt que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ſes globules peuvent ſe proportionner aux petites capacités tortueuſes qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la maſſe de la liqueur eſt plus profonde; & c'eſt par ces raiſons, ſans doute, qu'il la pénetre ſi lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

APPLICATIONS.

En ſuivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à peu près la quantité d'air que l'on a fait ſortir d'une matiere; car il y a toute apparence, qu'après un temps ſuffiſant, ce qui eſt rentré eſt égal à ce qui en étoit ſorti; & conſéquemment on pourra juger entre pluſieurs eſpeces, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de temps on peut la regarder comme étant purgée d'air.

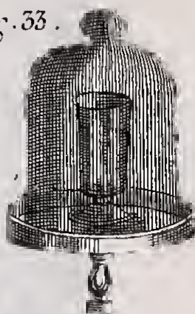
Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs

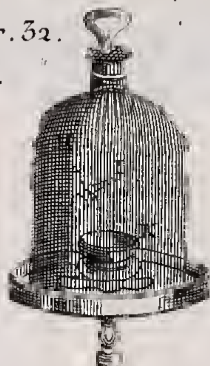
X. LEÇON.

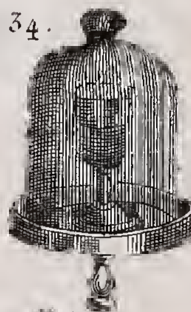
dans des matieres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit ſervir de véhicule aux parties odorantes, dont il ſe charge très-facilement, & en très-grande quantité.

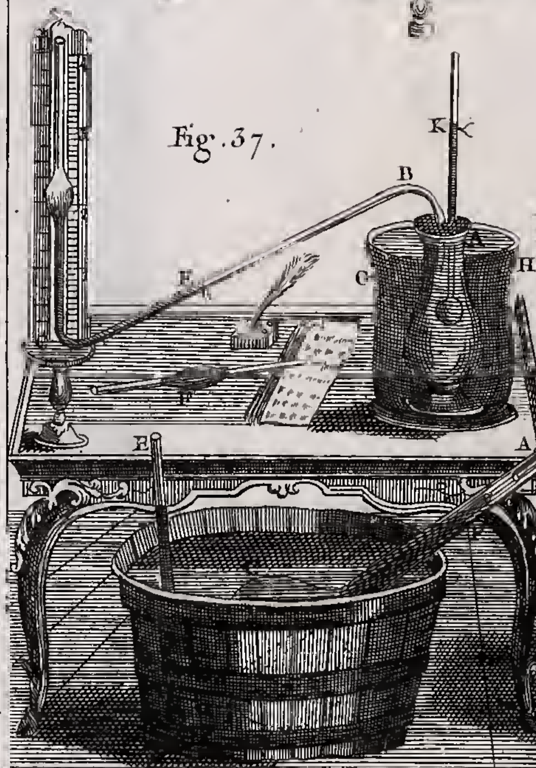
Ces différentes vues ouvrent un champ aſſez vaſte à de nouvelles & curieuſes expériences ; j'en ai déjà tenté avec quelque ſuccès pluſieurs, dont je rendrai compte ailleurs ; je ſouhaite que mon exemple excite le zele des Phyſiciens ; la même matiere maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoiſſances.

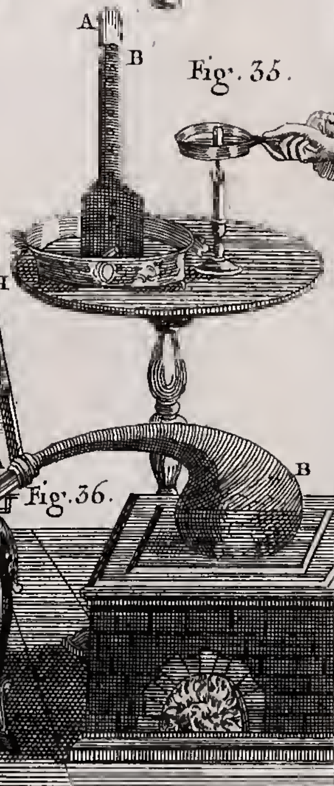



Fig. 33.


Fig. 32.


Fig. 34.


Fig. 37.
K
B
A
G
H
E


A
B
Fig. 35.
A
B
Fig. 36.





XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

De l'Air considéré comme Athmosphere terrestre.

LA plûpart des matieres terrestres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement aussi, une masse d'air quelconque se trouve toujours mêlangée de quelques substances étrangeres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'est jamais parfaitement pure, c'est-à-dire, qu'elle comprend toujours dans son volume quelqu'autre chose que sa matiere propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre aussi-tôt XI. LEÇON.

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous respirons, dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Athmosphere*, parce qu'il enveloppe de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu; & en effet, si l'on en pouvoit douter, la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raisonnable & généralement reçue, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, suffiroient pour nous convaincre de cette vérité : lorsque le feu décompose un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée? Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jetté à la voirie, diminue de jour en jour, & devient à rien, n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur; effet, comme on sait, des parties qui s'en exhalent? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs, se vuident par évaporation, si l'on néglige de les boucher? L'ath-

* Tome II. pag. 110, & suiv.

mosphere terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les temps & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mêlange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités.

On peut considérer l'athmosphere sous deux aspects différents : Premiérement comme un fluide en repos, qui pese également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matieres de différentes natures, qui les soutient pendant un temps; qui les laisse retomber ; & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : Secondement, comme un fluide agité, dont les mouvements peuvent être différemment modifiés. En examinant l'athmosphere sous ces deux points de vue, nous parcourrons dans les deux articles suivants ses principales propriétés.

ARTICLE PREMIER.

De l'Athmosphere considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

absolu, & pour toute l'athmosphere en même temps; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continuel, puisqu'elles s'élevent ou s'abaissent fréquemment, & que les changements de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée; & d'ailleurs l'athmosphere est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil; ainsi quand je la considere comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux mouvements.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'athmosphere perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons; mais l'air dans lequel elle étoit soutenue ne se

congele point avec elle ; c'eſt que ces parties aqueuſes, quelqu'abondantes qu'elles ſoient, ne le ſont jamais aſſez pour intercepter entiérement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu conſidérable ; & cet élément, tant qu'il fait maſſe, conſerve toujours ſon reſſort, qui paroît être, comme nous l'avons dit ci-deſſus, la principale cauſe de ſa fluidité.

Toute matiere qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planete. Or comme l'athmoſphere eſt compoſée d'air, & d'un extrait, pour ainſi dire, de tous les corps ſublunaires, dont nous avons prouvé la peſanteur dans les Leçons précédentes, on ne peut douter qu'elle ne peſe ſur nous & ſur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très-long-temps ſans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniere enfin l'on s'en eſt convaincu, & comment la connoiſſance du poids de l'athmoſphere a éclairé les Phyſiciens ſur pluſieurs phénomenes qui en réſultent.

* Tome I. p. 290 & ſuiv.

XI. LEÇON.

Mais cette peſanteur eſt celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer ſelon la hauteur des colonnes & la largeur de leur baſe ; c'eſt auſſi ſelon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déjà vu dans la ſeptieme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barometre, ſes principaux uſages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes ſtations de la montagne du Puy-de-Dôme en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile, qui me donnera occaſion d'expoſer ce qu'il me reſte à dire ſur cette matiere.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut faire choix de quelque lieu élevé & acceſſible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puiſſe aiſément meſurer la hauteur perpendiculaire, & ſe munir de deux barometres bien ſemblables ; c'eſt-à-dire, que dans le même lieu le mercure ſoit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laisse un de ces instruments au pied de la tour avec un Observateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

XI. LEÇON.

EFFETS.

1° A mesure qu'on s'éleve avec le barometre, le mercure s'abaisse dans le tube, comme je l'ai déjà dit * en rapportant l'expérience de M. Pascal, exécutée au Puy-de-Dôme par M. Perrier.

* *Tome II. page* 300.

2° Si lorsque le mercure s'est abaissé d'une ligne, on mesure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiere station, on trouve qu'elle est d'environ 12 toises.

3° Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éleve davantage à des hauteurs connues ou mesurables, on trouve que les stations suivantes qui se font à chaque fois qu'on observe une ligne d'abaissement au mercure, sont toujours à peu près de 12 toises les unes au-dessus des autres.

4° On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces sta-

XI. LEÇON.

tions, dont chacune répond à une ligne d'abaiſſement du mercure, ſont d'autant plus petites que l'air peſe davantage dans le temps de l'expérience, ſoit par le peu d'élévation du lieu où l'on opere, ſoit par l'état actuel de l'athmoſphere.

5° Si l'on répete cette épreuve dans des lieux qui ne ſoient que médiocrement éloignés les uns des autres, & dans des circonſtances qui rendent la preſſion de l'athmoſphere à peu près ſemblable, on trouve auſſi à peu près les mêmes réſultats; mais lorſque les diſtances ſont très-grandes, comme de 400 ou 500 lieues, on peut s'attendre à des différences aſſez conſidérables.

EXPLICATIONS.

L'athmoſphere ayant plus de hauteur, à compter du rez-de-chauſſée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les ſtations que l'on fait en montant, ſon poids eſt auſſi plus grand; & s'il eſt capable de ſoutenir d'abord 27 pouces ½ de mercure dans chaque barometre, celui des deux que l'on por-

te plus haut se trouve sous une colonne d'air plus courte, qui par conséquent soutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'athmosphere ne peut être attribuée qu'à son raccourcissement ; car le barometre de comparaison, qu'on a laissé dans le lieu le plus bas & qui soutient une colonne entiere, soit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, se trouve toujours plus haut que l'autre, & suivant les proportions marquées dans les résultats ci-dessus.

Par le second & le troisieme de ces résultats, on voit que chaque ligne d'abaissement du mercure dans le barometre répond environ à 12 toises de hauteur perpendiculaire dans l'athmosphere : ce rapport nous donne l'air plus pesant que nous ne l'avons estimé dans la Leçon précédente ; car nous avons dit que sa densité ou pesanteur spécifique est à celle de l'eau, à peu près comme l'unité est à 900 ; & comme le mercure pese 14 fois autant que l'eau, il suit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air, dont la somme 12600 fait

15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes, au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédents.

Mais il faut observer aussi, que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en différents temps, & en différents lieux, il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini, après avoir porté le barometre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde, près de Toulon, évalue à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises, par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet, dans le voisinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon, & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart faites au Mont-Saint-Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au barometre, répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Vallerius *, savant Suédois, qui répéta ces expériences dans son pays,

* *Hist. de l'Acad. des Scienc. 1712, p. 3 & suiv.*

après avoir observé les diverses hauteurs d'un barometre qu'il descendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta ensuite au sommet d'une montagne voisine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toises 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'athmosphere. M. de la Hire * le fils attribue toutes ces différences à deux causes principales: 1° à des couches de vapeurs, qui peuvent régner dans certaines parties de l'athmosphere, & qui en augmentent pour un temps la pesanteur; ce qui paroît très-vraisemblable: 2° à la situation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la pesanteur actuelle plus ou moins grande de l'athmosphere; & en effet, on voit par le quatrieme résultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, est d'autant plus grande ou plus petite, que cet air est plus ou moins dense; & la densité ou le poids d'un fluide compressible, croît à mesure qu'il est plus chargé, soit par sa propre matiere amoncelée, soit par des parties étrangeres qui s'y mêlent.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1712, p. 114.*

On peut ajouter encore pour troisieme raison (& c'est peut-être la plus

XI. LEÇON.

forte) on peut, dis-je, ajouter qu'il eſt très-difficile d'eſtimer au juſte chaque ligne d'abaiſſement du mercure dans le barometre ; cependant les plus petites erreurs dans cette eſtimation ſont d'une grande conſéquence, lorſqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correſpondante. Car puiſque le mercure ne s'abaiſſe que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toiſes fait à la colonne d'air, on peut aiſément ſe tromper de quelques toiſes ſur celle-ci ; il ſuffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'obſervation du barometre. Ceux qui connoiſſent bien cet inſtrument, conviendront ſans peine que l'obſervateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, non-ſeulement à cauſe de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de ſe remettre dans un parfait équilibre avec l'athmoſphere après ſes balancements, mais encore à cauſe de la convexité de ſa ſurface & des petites réfractions occaſionnées par l'épaiſſeur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

Puiſque

Puiſque l'athmoſphere eſt un fluide compreſſible, on ne peut pas ſuppoſer que ſa denſité ſoit uniforme ; on doit penſer au contraire, que les couches ſupérieures, peſant ſur celles qui ſont au-deſſous, reſſerrent & condenſent de plus en plus leurs parties ; & conſéquemment à ce principe, les différentes ſtations où l'on obſerve, en montant, une ligne d'abaiſſement dans le mercure du barometre, doivent ſe trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'eſt ce qu'on obſerve en effet : mais juſqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toiſes au-deſſus du niveau de la mer, les différences ſont peu conſidérables ; apparemment parce que la grande quantité de vapeurs groſſieres dont l'air eſt chargé dans cette baſſe région, & le grand poids qui le preſſe, rendent ſa denſité preſque uniforme. MM. Caſſini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites ſur diverſes montagnes dont ils avoient meſuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'athmoſphere pour pluſieurs

XI. LEÇON.

lignes d'abaissement du mercure au barometre, croissent suivant cette progression; savoir, que si la premiere ligne de mercure répond à 61 pieds d'air, il y en a pour la seconde 62, pour la troisieme 63, & ainsi de suite. Mais ils ont pensé avec raison, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-dessus du niveau de la mer; car alors, l'air étant plus pur, son ressort est plus libre, & ses différents degrés de densité ne dépendent presque plus que de la pression des couches supérieures & du degré de froid qui y regne.

APPLICATIONS.

Si l'on a pesé la colonne de mercure d'un barometre dont le tuyau soit parfaitement cylindrique, on sait aussi-tôt quel est le poids de la colonne totale de l'athmosphere qui la tient en équilibre; & l'air du cercle qui fait sa base est un espace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour savoir quelle est la pression de l'athmosphere sur un espace donné à la surface de la terre:

un exemple rendra ceci plus intelligible.

Supposons que le tube du barometre ait deux lignes de diametre intérieurement, & que le mercure qu'il contient pese une livre, cela m'apprend que dans le même lieu où est le barometre, tout espace circulaire qui a deux lignes de diametre, comme l'ouverture du tuyau, se trouve chargé d'une colonne d'air qui pese une livre ; & cette pression se fait contre une porte de même que sur une table ; parce que c'est ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes sortes de directions, comme nous l'avons enseigné en traitant de l'hydrostatique.

Supposons maintenant qu'on voulût savoir combien pese l'athmosphere sur un espace circulaire d'un diametre trois fois plus grand que le précédent, ce dernier espace est 9 fois plus étendu que le premier : car les cercles sont entr'eux comme les quarrés de leurs diametres, & le quarré de 3 est 9. Je dirai donc, puisqu'une colonne de l'athmosphere, dont la base a deux lignes de diametre, pese

XI. LEÇON.

une livre, une autre colonne qui s'appuie ſur un eſpace 9 fois plus grand, peſe 9 livres : & l'on pourra ſavoir ainſi quelle eſt la preſſion de l'athmoſphere ſur tout eſpace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés ſur ce principe, ſe ſont propoſé de chercher quel eſt le poids de toute l'athmoſphere ; mais ce qu'ils ont pu ſavoir à cet égard, tient à des hypotheſes dont les unes viſiblement fauſſes, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs preſqu'inutiles. Et en effet quelle connoiſſance peut-on tirer d'un pareil travail, ſi l'on ignore quelle eſt au juſte l'étendue de la ſurface de la terre ; ſi l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ſes inégalités, ſi l'on conſidere l'athmoſphere comme un fluide d'une denſité uniforme dans ſes parties ſemblables, ſi l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui réſulte du mouvement de la terre ſur ſon axe, &c ? On voit aſſez combien il ſeroit difficile de ſaiſir avec juſteſſe tous ces éléments ; mais cette queſtion n'étant heureu-

ſement que de pure curioſité, la ſolution qu'on pourroit ſe flatter d'en avoir ne mérite pas la peine qu'elle exige.

On fera du barometre une application plus heureuſe & plus utile, ſi l'on s'en ſert pour meſurer la hauteur des montagnes ; car ſuivant les expériences qui furent faites par MM. Caſſini, Maraldi & Chaſelles, en Auvergne, en Languedoc, & en Rouſſillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer juſqu'à une demi-lieue de hauteur, on peut compter environ 10 toiſes d'élévation pour chaque ligne d'abaiſſement du mercure, en ajoutant un pied à la premiere dixaine, 2 pieds à la ſeconde, 3 pieds à la troiſieme, & ainſi de ſuite.

* *Mém. de l'Ac. des Sc. 1703, p. 229 & ſ.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en uſage, il faut ſavoir à quelle hauteur ſe tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opere ; & c'eſt ce que l'on peut ſavoir facilement par un barometre de comparaiſon qu'on y laiſſe, avec un Obſervateur attentif. Il n'eſt pas même beſoin que ce barometre & cet Obſervateur ſoient au

XI. LEÇON. bord de la mer ; il ſuffit que l'obſervation ſe faſſe dans un lieu dont on connoiſſe l'élévation au-deſſus du niveau de la mer ; & c'eſt ce qu'il n'eſt point rare de trouver maintenant dans preſque tous les états. La ſalle de l'Obſervatoire-Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les obſervations du barometre, & dont on tient un état tous les ans, eſt de 45 toiſes au-deſſus de la Méditerranée, & de 46 au-deſſus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raiſon, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'obſerve au bord de ces deux mers.

Je ſuppoſe donc que l'on ait porté un barometre au ſommet d'une montagne dont la hauteur eſt inconnue ; ſi l'on y trouve le mercure 10 lignes au-deſſous du terme où il ſeroit ſur le bord de la mer, en comptant d'abord dix toiſes pour chaque ligne de mercure, on aura 100 toiſes, auxquelles ajoutant un pied pour la premiere dixaine, 2 pieds pour la ſeconde, 3 pieds pour la troiſieme, & ainſi de ſuite juſqu'à la dixieme incluſivement, on aura encore 55 pieds

qui font neuf toises & un pied ; ainsi l'on conclura 109 toises & un pied, pour la hauteur de la montagne au-dessus du niveau de la mer.

Il est vrai que cette méthode ne donne point des mesures précises, & qu'en l'employant on ne peut guere compter que sur des à-peu-près : premiérement, parce que les expériences sur lesquelles elle est fondée, ayant varié dans leurs résultats, ne déterminent pas avec précision la hauteur qui répond à une ligne de mercure ; en second lieu, parce qu'il est très-difficile de juger avec toute l'exactitude qu'il seroit nécessaire, de combien le barometre a baissé lorsqu'il est parvenu au plus haut de la montagne ; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans les parties de l'athmosphere qui couvre le lieu où l'on opere. Mais combien y a-t-il d'occasions où les mesures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut se contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toises près ?

Une des vues que l'on pourroit avoir encore en faisant usage du ba-

XI. LEÇON.

rometre, ce ſeroit de connoître l'étendue de l'athmoſphere, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui ſoutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-deſſus à meſurer le poids; il ſemble qu'on en pourroit aiſément venir à bout, ſi l'air de l'athmoſphere, comme de l'eau ou comme toute autre liqueur, étoit par-tout d'une denſité uniforme; car en ſuppoſant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toiſes de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toiſes que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du bametre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toiſes pour la hauteur totale de l'athmoſphere : mais le fluide dont il s'agit eſt une matiere compreſſible; & par cette raiſon, les parties ſemblables de cette colonne étant priſes les unes au-deſſus des autres, ne doivent pas peſer également, ou (ce qui eſt la même choſe,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes; les plus baſſes ſeront plus courtes que celles qui ſont au-deſſus.

Cette

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'athmoſphere, ſi l'on ſavoit au juſte dans quelle progreſſion l'air ſe raréfie, à meſure que ſa maſſe diminue, & qu'il ſe trouve moins chargé par ſon propre poids : ſi l'on étoit certain, par exemple, que ſa denſité augmentât & diminuât comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte pût être ſuivie à toutes ſortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter ſur cette ſuppoſition, on ſait, par un nombre ſuffiſant d'obſervations & d'expériences, que l'air ne ſe raréfie & ne ſe comprime ainſi que dans une denſité moyenne, & que dans les cas extrêmes il ſuit une autre progreſſion que l'on ne connoît point aſſez & qui, telle qu'elle puiſſe être, doit varier ſuivant certaines circonſtances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos obſervations ne peuvent s'étendre, ſuffit pour cauſer des changements aſſez conſidérables à la peſanteur de l'athmoſphere, & à ſa hauteur : on ne

XI. LEÇON.

peut, ſans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel eſt l'état actuel de l'air dans toute ſon étendue.

Un corps à reſſort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorſqu'on vient à le décharger peu-à-peu, ſe déploie par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui ſuivent d'abord une progreſſion aſſez réguliere; mais ſur la fin, lorſqu'on ôte les derniers poids, le développement ou l'extenſion du reſſort ſe fait dans des rapports beaucoup plus conſidérables. Comme l'air eſt un fluide élaſtique, on doit préſumer que dans les hautes régions, où il eſt bien moins chargé par ſon propre poids que par-tout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend auſſi beaucoup davantage; ce qui doit donner à l'athmoſphere une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, ſi nous en devions juger par les quantités qui répondent ici-bas à une ligne d'abaiſſement du mercure dans le barometre.

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande diſtance du centre de la terre, la peſanteur diminue, & la force centrifuge augmente: ces deux cauſes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter ſa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'athmoſphere.

De ces différentes conſidérations, & des expériences faites avec le barometre, il ſuit, que notre athmoſphere ne peut pas avoir moins que 6 lieues d'étendue en hauteur; il ſuit auſſi, (& c'eſt l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues: quelles différences! & combien nous ſommes encore peu inſtruits ſur cette queſtion!

M. de la Hire, touché de cette incertitude, & déſirant une ſolution moins vague, ſe propoſa de connoître la hauteur de l'athmoſphere, en faiſant uſage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & ſut employer plus heureuſement que cet Aſtronome. Ce qu'on appelle *crépuſcule*, cette lumiere qui commence le jour avant que le ſoleil ſoit levé, & qui le fait durer encore quelque temps après que cet aſtre eſt couché,

XI. LEÇON.

eſt un effet de la réflexion cauſée par l'athmoſphere aux rayons qui, ſans cela, paſſeroient au-deſſus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiere réfléchie qu'on apperçoit ſenſiblement dans le climat de Paris, lorſque le ſoleil n'eſt pas plus bas que 18 degrés au-deſſous de l'horizon, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le ſoir, ſi l'athmoſphere avoit moins d'étendue, parce qu'alors les rayons de lumiere pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon, ſans rencontrer cette maſſe fluide qui les renvoie vers la terre. Il y a donc un rapport néceſſaire entre la durée des crépuſcules & la hauteur de l'athmoſphere; & comme la premiere de ces deux choſes eſt connue ou facile à connoître, dans toutes les poſitions de la ſphere, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec une adreſſe & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec aſſez de

* *Mém. de l'Ac. des Sc. 1713, p. 54.*

vraiſemblance la hauteur de l'athmoſphere de 15 ou 16 lieues ; je dis avec aſſez de vraiſemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypotheſes, qui pourroient bien n'être pas préciſément d'accord avec la nature.

Si l'on connoiſſoit bien la hauteur de l'athmoſphere pour chaque climat, on ſauroit quelle eſt la figure de toute ſa maſſe ; car une ſuite de colonnes, qui depuis l'équateur juſqu'aux pôles, feroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrêmités, une courbe d'où réſulteroit la ſolution du problême. Mais comme il reſte des doutes ſur la premiere de ces deux queſtions, la ſeconde demeure encore indéciſe, au moins pour ceux qui ne veulent ſe rendre qu'à des raiſons tout-à-fait évidentes.

Sur les obſervations de M. Richer à la Cayenne, & ſur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes temps avec le barometre en différents climats, on conjectura que la hauteur de l'athmoſphere augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur juſqu'aux pôles, parce que le mercure ſe tient

XI. LEÇON.

plus haut dans les pays ſeptentrionaux que ſous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'athmoſphere formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un ſphéroïde allongé vers les pôles, & ſon épaiſſeur ſeroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais ſans donner atteinte aux obſervations du barometre, qui ne ſe ſont point démenties depuis, & qui ont été même réitérées en dernier lieu avec toute l'exactitude poſſible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'athmoſphere? en jugeant de ſes hauteurs, par ſes différents degrés de preſſion, a-t-on pu négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui réſulte du mouvement de la terre ſur ſon axe, & qui eſt commun ſans doute à l'air qui l'environe? Une pareille conſidération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger ſous la forme d'un ſphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons ex-

pliqué ailleurs. * Ne peut-on pas dire la même chose, & avec plus de raison encore, d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'athmosphere tourne avec plus de vîtesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pesanteur.

XI. LEÇON.

* Tome II. page 151.

On peut ajouter aussi, que sous la Zone torride, où il regne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barometre s'y tient plus bas que dans le Nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pesant; mais cette moindre pesanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer? Le dernier parti

XI. LEÇON.

me paroît le plus vraiſemblable.

II. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Il faut mêler de la glace pilée, ou de la neige, avec du ſel dans un vaſe de verre ou de métal fort mince, qui ſoit bien eſſuyé en dehors, & que l'on tient environ un quart d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaiſſeau ſe couvrent peu-à-peu d'une eſpece de frimas ou de gelée blanche aſſez ſemblable à celle qu'on voit le matin ſur les toîts & à la ſurface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hiver.

EXPLICATIONS.

Le mêlange de glace & de ſel refroidit conſidérablement les parois du vaſe qui le contiennent : ce refroidiſſement condenſe auſſi-tôt l'air extérieur le plus prochain ; & les particules d'eau dont cet air eſt chargé, étant condenſées auſſi par la même

causé, s'appliquent & se gelent contre le vase ; à la premiere couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troisieme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaissit plus ou moins, selon la durée & l'intensité du froid artificiel qui la cause. XI. LEÇON.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'est qu'une transpiration de ce qui est dans le vase, on seroit bientôt désabusé de cette erreur en goûtant la glace extérieure ; car on la trouveroit insipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, si elle se formoit d'eau salée.

Pour dissiper entiérement ce préjugé, avant que de refroidir mon vase avec le mêlange de sel & de glace, je le place dans un autre vase de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puisse entrer dans le peu d'intervalle qui se trouve entre lui & l'autre ; & alors, quel que soit le refroidissement, je n'apperçois aucune congélation autour du vase enfermé : celle qu'on y voit lorsqu'il ne l'est pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

Préparation.

La *Fig.* 1 repréſente un ballon de verre bien tranſparent, de 9 à 10 pouces de diametre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui eſt joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de ſorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaiſſeaux : la clef du robinet eſt percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point enſemble, celui-ci communique avec l'air extérieur : le canal étant donc fermé, on épuiſe l'air du récipient, & l'on ouvre enſuite la communication entre le ballon & lui.

Effets.

Si le ballon eſt placé entre la lumiere & l'œil du ſpectateur, on y apperçoit une vapeur légere qui tournoie, & qui ſe précipite vers le bas du vaiſſeau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvu que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on à évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de communication, ce qui les fait tournoyer

en tombant en forme de vapeur.

XI. LEÇON.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pu me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toujours mêlé de matieres étrangeres ; mais on auroit pu m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est due qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'athmosphere : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiere.

* *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1740, *p.* 243.

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'athmosphere, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

Il y a toute apparence que ces pe-

tits corps, dès qu'ils ceſſent d'être ſoutenus, retombent les uns ſur les autres, & s'uniſſent pour former des maſſes plus groſſieres, & par conſéquent plus propres à être apperçues.

D'ailleurs c'eſt un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la tranſparence des corps diminue, à meſure que leurs parties deviennent plus denſes les unes que les autres : or quand cette maſſe fluide qui remplit le ballon vient à ſe raréfier, il n'y a que la denſité de l'air proprement dit, qui diminue ; celle des autres matieres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occaſionne ſans doute cette petite opacité qu'on apperçoit, & qui ne manque pas de diſparoître auſſi-tôt qu'une raréfaction ſuffiſante a donné lieu à l'air de ſe purifier, en ſe deſſaiſiſſant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

On diſtingue communément en deux claſſes toutes les matieres qui s'élevent de la ſurface de la terre dans l'athmoſphere ; l'une comprend ſous

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau; dans l'autre on range toutes les parties ſalines, ſulfureuſes, graſſes & ſpiritueuſes, & c'eſt ce qu'on appelle *Exhalaiſons*.

XI. Leçon.

Toutes ces ſubſtances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mêlangées ou modifiées, prennent des formes & produiſent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît ſous le nom de *Météores*. On en peut diſtinguer de trois ſortes; ſavoir, ceux qui ſont produits par les vapeurs ſeules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimas, &c. ceux que font naître des exhalaiſons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés*; tels ſont le tonnere, les éclairs, les feux-folets, &c. & ceux qui réſultent des vapeurs & des exhalaiſons combinées avec la lumiere, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies, &c.

Pour ne point faire une trop longue digreſſion, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiere espece, & je remettrai à parler des autres dans les leçons où je traiterai du feu & de la lumiere. XI. LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même temps & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se rallentit peu-à-peu; mais elle se conserve plus long-temps dans les corps qui ont plus de matiere, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communément plus chaudes que l'air de l'athmosphere. Alors la matiere du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la maniere des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particuliere se joignant à celles dont nous avons fait mention * en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'athmosphere la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : delà vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* *Tome II. pag. 110 & suiv.*

XI. LEÇON.

ment ſur les habits, lorſqu'on ſe promene à la campagne pendant les ſoirées fraîches du printemps & de l'automne, & que l'on nomme *le ſerein*. Ces ſortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux groſſes étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui ſe refroidit, le feu qui continue de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui ſe préſentent à leur ſurface.

Le ſerein dure toute la nuit, dans les ſaiſons & dans les climats où la terre s'échauffe ſuffiſamment pendant le jour. Au ſoleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'athmoſphere, & l'air en ſe dilatant, ſe deſſaiſit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop ſubtiles peut-être pour remplir ſes pores, ou bien elles ſuivent la matiere du feu à laquelle elles ſont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainſi, s'appellent *roſées*; elles ſont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arides ; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en est élevé.

Il ne faut pas confondre cependant cette rosée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin sur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & sur leurs feuilles, sont des effets de la transpiration ; & l'on peut aisément s'en convaincre, si l'on couvre un chou ou un pied de laitue pendant la nuit ; car on y verra le matin la même rosée qu'on a coutume d'y voir lorsque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres, & sont élevées par la même cause ; mais au lieu d'en sortir immédiatement comme par-tout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feuilles, leur mouvement se rallentit, & elles demeurent plusieurs ensemble à l'orifice des petits canaux par lesquels elles transpirent.

Les Empiriques & les Alchimistes ont attribué de grandes vertus à la rosée ; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées,

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimeres dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorants.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on mene paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante: car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les plantes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au serein qui tombe, ces couches légeres de matieres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un temps serein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques especes de mannes dont la médecine fait usage.

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matieres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différents lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons, n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les temps & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroient pas lieu ailleurs, ou dans un autre temps. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

eſt dangereux, dit-on, de prendre l'air le ſoir ; à Paris, on le peut faire impunément : c'eſt qu'ici le ſerein n'eſt preſque autre choſe qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur eſt chargée apparemment d'exhalaiſons nuiſibles, qui tiennent de la nature du terrein, & dont la quantité répond au grand chaud du climat ; ainſi l'on ne peut guere prononcer en général ſur cette matiere.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de temps pour ſe refroidir, & très-ſouvent ſa ſurface & les corps qui y ſont iſolés, ſont aſſez froids pour glacer les particules d'eau dont la roſée tombante a coutume de les couvrir ; alors au lieu d'humidité on apperçoit ſur le gazon, ſur les toîts des bâtiments, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cauſe de ſa couleur, & qui ne manque pas de ſe fondre & de ſe diſſiper dès que le ſoleil commence à faire ſentir ſa chaleur.

La roſée, ou la gelée blanche qui a été fondue, ſe diſſipe de deux manieres ; elle rentre dans les terres ari-

des & dans les corps poreux qui ont plus de diſpoſition à l'abſorber que l'air de l'athmoſphere ; mais le plus ſouvent elle s'éleve de nouveau, ſoit qu'une médiocre raréfaction mette l'athmoſphere en état de la pomper, ſoit qu'un vent fort doux y tranſporte un air plus ſec que celui ſous lequel elle étoit.

Aſſez ſouvent, quand la roſée remonte, elle diminue la tranſparence de l'athmoſphere, parce qu'alors les parties de cette vapeur ſont beaucoup plus groſſieres, & qu'elles s'élevent plus lentement. Ces deux cauſes qui naiſſent l'une de l'autre, doivent néceſſairement rendre l'air opaque ; 1°, parce qu'un corps tranſparent l'eſt d'autant moins que ſes parties different davantage par leur denſité, comme nous le prouverons par la ſuite : 2°, parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus denſe.

Mais cette opacité que fait naître la roſée qui remonte, ne s'empare preſque jamais d'une grande portion de l'athmoſphere, elle ſe cantonne, pour ainſi dire, & devient plus forte,

XI. LEÇON.

dans les lieux bas & humides, & au-dessus des prairies, que par-tout ailleurs, parce que, comme nous l'avons déjà dit, la rosée retombe à proportion de ce qu'il s'en éleve ; & si le temps est calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fournissent une plus grande quantité pendant la nuit. C'est par cette raison sans doute, qu'on ne voit guere au-dessus des Villes & des lieux arides, l'athmosphere obscurcie par la rosée qui remonte, mais bien plus souvent au voisinage des rivieres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçu & fondé sur les apparences, avoit établi, touchant la rosée & le serein, des idées bien fausses qui ont été dissipées dans ces derniers temps par MM. Gersten, Muschenbroek & Dufay. Le lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on sait sur cette matiere, doit parcourir leurs écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuses & d'observations aussi curieuses que nouvelles. De tous les faits qui y sont rapportés, celui qui surprend davantage, c'est

* *Christ. Lud. Gersten. tentam. Francof.* 1733. *Essais de Phys.* p. 753. *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1736, p. 352.

que le ferein ou larofée femblent éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matieres fe mouillent confidérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelqu'étendue qu'ils foient, expofés au même lieu, demeurent conftamment fecs, & cette efpece de préférence eft fi marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de faïance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le refte du vaiffeau foit tout mouillé.

Une certaine difpofition de l'athmofphere, & un concours de circonftances qu'il feroit fort difficile de marquer avec précifion, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs groffieres à s'élever à-peu-près comme la rofée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élevent à peine, s'étendent uniformément dans la partie baffe de l'athmofphere, & la rendent opaque, tout le temps qu'elles y demeurent fufpendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & baffes, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON.

rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autres temps, & d'une maniere différente, se nomment *Brouillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaisons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il regne en certaines années des brouillards auxquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies assez communes au froment & au seigle: (*a*) quelques Savants ont rejetté sur ces mêmes causes ce qu'on remarque à certains épis dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu*; la farine en est pernicieuse; on lui attribue une maladie qui regne quelquefois dans les campagnes, & qui est connue

(*a*) Voyez ce qu'ont écrit sur ce sujet MM. Duhamel du Monceau, & Tillet; le premier dans son ouvrage intitulé: *Traité de la culture des terres*, tom. II. p. 158 & *suiv. Ibid.* tom. IV. p. 175, 263 & *suiv.* Le dernier dans sa Dissertation sur la cause qui corrompt & noircit les grains de bled dans les épis, &c. imprimée à Bordeaux en 1755, *in*-4°. pag. 41. & *suiv.*

nue ſous le nom de *Feu Saint Antoine ;* on prétend auſſi qu'elle donne la gangrenne *.

XI. LEÇON.

* *Hiſt. de l'Ac. des Sc. 1710, p. 61. Journal des Sç. mars 1676.*

En hiver les brouillards ſont plus fréquents qu'en été, parce que le froid qui regne dans l'air, condenſe promptement les vapeurs, & ne leur donne pas le temps de s'élever beaucoup; ſi le froid augmente, le brouillard ſe gele & s'attache aux branches des arbres, aux plantes ſeches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve expoſé; c'eſt ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui ſont propres à les former, peuvent s'élever aſſez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'athmoſphere; ce ſont ces *nuées* que nous voyons ſuſpendues de côtés & d'autres au-deſſus de nous, & qui nous cachent de temps en temps le ſoleil & les autres aſtres par leur opacité; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, ſelon la quantité des vapeurs qui les forment, & ſelon la maniere dont elles s'arrangent en s'uniſſant, ce qui dépend

beaucoup de la direction & des différents degrés de vîtesses que les vents leur donnent.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flottent, & que ce fluide est plus rare à une plus grande distance de la terre, les vapeurs les plus subtilisées peuvent se soutenir où les plus grossieres se trouveroient trop pesantes; c'est pourquoi des nuages épais qui sont prêts à fondre en pluie sont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent sur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrénées, passent souvent à travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le ciel; les moins attentifs ne manquent point d'observer qu'à ces hauteurs la terre est toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briser, ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrents & ces sources qu'on voit si fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainsi dans le temps même qu'il ne pleut

point, les nuées ſont autant de voies d'eau que les vents diſtribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiſer contre les montagnes, d'où elles ſe répandent enſuite dans les plaines par les canaux ſouterreins que la nature y a pratiqués. Mais les nuées ne s'épuiſent pas toujours de cette maniere; le plus ſouvent elles s'épaiſſiſſent, ſoit par l'action des vents qui les pouſſent les unes contre les autres, ſoit par la condenſation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop peſantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie*.

Lorſque cette condenſation ſe fait lentement, ou que les vapeurs tombent ſeulement parce que l'air qui les ſoutient ſe raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluie qu'elles forment eſt très-fine, & ſe nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs ſe condenſent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'athmoſphere, où l'air a plus de denſité, les gouttes acquierent plus de groſ-

XI. LEÇON.

ſeur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'obſerve preſque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidiſſements qui ſe font dans la région des nuages, non-ſeulement condenſent les vapeurs & les convertiſſent en pluie, il arrive ſouvent que le froid eſt aſſez conſidérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle*; en neige ſi la congélation ſaiſit les vapeurs avant qu'elles ſe ſoient réunies en groſſes gouttes; car ces glaçons infiniment petits s'uniſſant mal entr'eux, ne peuvent compoſer que des flocons fort légers: en grêle, ſi les particules d'eau ont le temps de ſe joindre avant que d'être priſes par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus groſſe que des gouttes de pluie; ſi l'on en voit quelquefois tomber qui égale en groſſeur une noix ou un œuf, c'eſt que pluſieurs grains s'uniſſent enſemble en tombant; ou bien lorſqu'ils ont reçu un degré de froid ſuffiſant, ils gêlent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte; & ils devien-

nent comme les noyaux de plusieurs couches de glaces qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre.

XI. LEÇON.

On a vu, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matieres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les Mémoires de Breslaw * il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'alarme dans la ville de Brunswick. Les habitants de Copenhague, en 1649, ramasserent aussi du soufre dans les rues, après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa, en 1677, une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers prise pour du soufre ; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiere venoit de la

* Octob. 1721.

fleur des jeunes pins, qui sont fort communs dans les environs du lac de Zurich, où il fit cette observation. On a vu des pluies de sable à une distance assez considérable de la mer; c'étoit sans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres, si l'on peut les nommer ainsi, sont causées par les éruptions des volcans.

Au reste, quand il arrive de ces sortes de phénomenes, on doit, avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonspection, & ne point céder précipitamment aux premieres apparences; car ordinairement l'attention d'un observateur intelligent dissipe une fausse merveille, & dévoile une vérité obscurcie par les circonstances. Si l'on jugeoit, par exemple, sans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau sur la terre, après ou pendant la pluie, vient comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'athmosphere, on croiroit, comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapauds, du sang, du grain, &c. Mais quand on sait que tous les animaux, jusqu'aux reptiles &

aux insectes, ont une génération réglée, & qui se fait toujours par les mêmes voies dans chaque espece ; que le crapaud, à peu près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop pesant pour s'élever comme les vapeurs ; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent se soutenir en l'air ; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pu tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différents temps, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang ; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénomenes effrayants, & de les joindre à des événements contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Savants *

* *Plutarque, Dion, Tite-Live, Pline, &c.*

* *Peiresc.*

* *Meret.*

plus attentifs, remarquerent que la prétendue pluie de ſang avoit marqué des endroits couverts, comme le deſſous des entablements des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air ſe trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'inſectes d'une même eſpece.

La premiere de ces deux obſervations prouve d'abord & ſans réplique, que les taches rouges n'étoient point les veſtiges d'une pluie qui fût tombée d'en-haut. La ſeconde fit connoître avec le temps quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon ſort de ſa chryſalide, il dépoſe toujours deux ou trois gouttes d'une ſéroſité rouge qui reſſemble aſſez à du ſang ; or il y a telle circonſtance de temps, où il en naît un nombre prodigieux; car cette eſpece d'inſectes, comme la plupart des autres, eſt extrêmement féconde, & ſi tous les œufs venoient à bien, nous en ſerions fort incommodés : on ſe ſouvient encore du dommage que cauſa une ſeule eſpece

de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735; il ne resta point de légumes dans les marais, & jusqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles, devenues chrysalides, se changent en papillons, combien ne doit-on pas voir de taches rouges, quand c'est une espece qui s'attache aux murs & aux bâtiments; car il y en a beaucoup qui se mettent en terre, ou qui se branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit presque point les traces de leur métamorphose.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de sang. Il est vrai qu'on a vu quelquefois, après une grosse pluie, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une sorte de ressemblance avec le froment : les paysans qui les ont ramassés, & qui ont essayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel; & suivant la maniere de penser du peuple, ils en ont tiré des conjectures sur la disette ou sur l'abondance; mais des

XI. LEÇON.

personnes plus éclairées, & moins susceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient de petites bulbes, qui se forment en grande quantité aux racines d'une espece de renoncule qu'on nomme la *petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux disparoît : car on sait que les racines de cette plante sont très-déliées, & à fleur de terre ; ce sont de petits filets rampants, qui se dessechent, & qui disparoissent ; & leurs bulbes qui ont plus de consistance, demeurent isolées, & ressemblent un peu à des grains répandus sur la terre.

Comme les nuées sont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-dessus des mers & des grands lacs, où l'évaporation est plus abondante. C'est pourquoi, toutes choses égales d'ailleurs, les pluies sont plus fréquentes dans le voisinage des côtes, que dans le milieu des continents ou des grandes isles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris ; & quand le vent est au Sud ou à l'Ouest, nous avons ordinairement un temps pluvieux à cau-

ſe de la Méditerrannée & de l'Océan, dont nous ne ſommes point fort éloignés.

XI. LEÇON.

On meſure continuellement à l'Obſervatoire Royal, la quantité de pluie qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis longtemps en Angleterre, en Italie, en Hollande, & dans pluſieurs villes d'Allemagne. Ces ſortes d'obſervations ſe font par le moyen d'un vaſe quarré ou cylindrique, gradué par dedans ſelon ſa hauteur, que l'on expoſe dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque ſur un journal de combien de lignes l'eau s'eſt élevée dans le vaiſſeau; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle eſt la ſomme totale de la pluie qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainſi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau; à Londres 37 pouces ½ meſure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France; à Rome 20 pouces; à Zurich en Suiſſe 32 pouces; à Utrecht 24 pouces. *

* Environ 23 pouces, meſ. de France.

XI. LEÇON.

La pluie purifie l'athmoſphere, en précipitant avec elle toutes les exhalaiſons qui s'y amaſſent pendant la ſécheresſe, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & cauſeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit ſenſiblement de cet effet, non-ſeulement parce qu'on reſpire plus à ſon aiſe, mais encore parce que l'air devient plus tranſparent; les objets s'apperçoivent plus diſtinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vue ne font auſſi-bien qu'après une groſſe pluie, & par un temps calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous eſt encore très-avantageux, c'eſt de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode ſouvent dans certaines ſaiſons. On en reconnoît bientôt la cauſe quand on ſait que la région des nuages eſt preſque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'athmoſphere où nous ſommes. C'eſt un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vu la cime des montagnes couverte de neige, lorſqu'il fait encore aſſez chaud dans les lieux bas. Ainſi, quand il

pleut en été, c'eſt de l'eau froide qui ſe filtre à travers d'un air plus chaud qu'elle ; celui-ci perd néceſſairement une partie de ſa chaleur.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en eſt pas dont nous ayons plus de beſoin, & qui tourne plus directement à notre avantage, que la part qu'elle a à la fertilité de la terre : quand elle manque trop long-temps, & que rien n'y ſupplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure ſans ſuccès ; mais lorſqu'elle les arroſe modérément, elle amollit la terre, elle entretient la ſoupleſſe des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la ſeve, & lui ſert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la diſtribuer à la tige & aux branches.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élevent avec elles ou rencontrent dans l'athmoſphere, les parties les plus ſubtiles de toutes ces ſubſtances que la nature fait entrer dans la compoſition des mixtes, les ſels, les ſoufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, tranſportent tous ces principes d'un lieu dans

un autre, & les distribuent de maniere qu'ils ne tarissent jamais. C'est donc pour leur donner le temps de se rassembler qu'on laisse reposer les terres épuisées, ou qu'on y varie les semences : car une plante peut souvent se passer de ce qu'une autre tire de la terre.

XI. LEÇON.

Les pluies peuvent avoir aussi de mauvais effets, comme elles en ont de bons : lorsqu'elles sont froides ou trop fréquentes, lorsqu'elles tombent hors de saison, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourrissent les moissons & font germer le grain sur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impratiquable la navigation des rivieres, par les débordements & les inondations qu'elles causent ; & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occasionnent la disette.

On voit assez souvent sur mer, & beaucoup plus rarement sur terre, un phénomene surprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'est une nuée épaisse, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique,

ou de cône renversé; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit semblable à celui d'une mer fortement agitée ; elle renverse les arbres & les maisons par-tout où elle passe, & lorsqu'elle s'abat sur un vaisseau, elle ne manque guere de le submerger. Les gens de mer qui connoissent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent ; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tâchent de la rompre à coups de canon, avant que d'être dessous pour prévenir l'inondation dont ils sont menacés. Peu d'observateurs ont eu le loisir d'examiner de près ces sortes d'accidents, & par cette raison l'on n'est pas encore bien instruit de la maniere dont ils naissent. On croit *, avec assez de vraisemblance, que la nuée déterminée à tourner par la double impulsion de deux vents contraires, & dont les directions sont paralleles, prend la forme d'un tourbillon d'eaux, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, suivant la vîtesse avec laquelle il tourne, & suivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

* *Hist. de l'Ac. des Sc. 1727, p. 5.*

XI. LEÇON.

J'aurois encore bien des choſes à dire touchant les météores aqueux ; mais je paſſerois les bornes que je me ſuis preſcrites dans un ouvrage où je me ſuis moins propoſé de donner une hiſtoire complette des effets naturels, que d'expoſer les cauſes de ceux qui ſont les plus connus & les plus intéreſſants : le Lecteur qui déſirera d'en ſavoir davantage pourra conſulter les Auteurs * qui ont écrit ſur cette matiere *ex profeſſo*, & les Mémoires des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Obſervations Météorologiques pour chaque année.

* *Stankuſius*, *Reſta*, *Dechal.* *Geſten*, *Muſch.* &c.

ARTICLE II.

De l'Athmoſphere conſidérée comme un fluide en mouvement.

On obſerve principalement deux ſortes de mouvements dans l'air de l'athmoſphere, l'un eſt une eſpece de frémiſſement imprimé aux parties de ce fluide, & qui les agite quelques inſtants, ſans les déplacer ; (*a*) l'autre

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon caſſe les vitres d'un appartement voiſin, ce qui ne peut ſe faire ſans

tre eſt un déplacement ſucceſſif qui ſe fait d'un grand volume d'air, avec une vîteſſe ſenſible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvements s'appelle *ſon* ; le dernier eſt ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le ſon naît communément du choc ou de la colliſion de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes parts, juſqu'à une certaine diſtance, le fluide qui les environne ; & ce frémiſſement ſe communique aux autres corps qui en ſont ſuſceptibles, & qui ſe rencontrent dans cette ſphere d'activité ; de ſorte que la même cloche que l'on fait ſonner, peut ſe faire entendre à un nombre infini de perſonnes placées aux environs. On peut donc conſidé-

un déplacement ſenſible de la maſſe d'air qui les touche, & qui les enfonce ; mais on verra aiſément par tout ce qui ſera expoſé dans cet article, que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le ſon ou le bruit, mais qu'elle ne lui eſt point eſſentielle, & qu'elle ne ſe rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

XI. LEÇON.

rer le ſon, 1°, dans le corps ſonore, 2° dans le milieu qui le tranſmet, 3° dans l'organe qui en reçoit l'impreſſion. On pourroit encore tenter de le ſuivre juſques dans l'ame qui en perçoit l'idée ; mais c'eſt une entrepriſe qui appartient à la Métaphyſique, & qui n'eſt point de mon reſſort : j'en uſerai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres ſens ; je me contenterai de conduire l'objet juſqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la ſenſation, & je me diſpenſerai d'examiner comment naiſſent les idées, à l'occaſion de l'objet ſenſible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les ſons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, ſont diſtincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainſi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou ſubit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le murmure d'une eau courante, ou le mugiſſement des flots

agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élaſtiques qui ſoient véritablement ſonores, ſuivant cette définition ; & que le ſon qu'ils rendent, eſt toujours proportionnel à leurs vibrations, ſoit pour la durée, ſoit pour l'intenſité ou force.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

La *Fig.* 2 repréſente une cloche de verre ſuſpendue fixement entre deux montants qui ſont élevés ſur une baſe ; on frappe légérement pluſieurs coups ſur les bords de cette cloche, pour la faire ſonner, & auſſi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a ſon écrou dans l'épaiſſeur du montant, & on la fait avancer juſqu'à ce que le bout ſoit fort près de la cloche ſans la toucher.

EFFETS.

On entend un petit frémiſſement du verre contre la pointe de la vis ; & ce bruit dure autant que le ſon de la cloche ſubſiſte.

XI. LEÇON.

II. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On attache à deux points fixes une corde de claveſſin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un curedent, ou une épingle, on appuie deſſus le milieu pour la mettre en jeu.

EFFETS.

Pendant que la corde raiſonne, on l'apperçoit ſous la figure d'un parallélogramme *BCDE*, *Fig.* 3, & cette figure ceſſe avec le ſon, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelqu'autre corps ſolide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une ſuite de zones circulaires, dont les diametres décroiſſant ſuivant une certaine proportion, ſont repréſentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig.* 4, & chaque zone, par rapport à ſon épaiſſeur, comme un anneau plat compoſé de pluſieurs circonférences con-

centriques, *Fig* 5. Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones. XI. LEÇON.

Si la matiere de la cloche n'étoit point poreuſe, toutes les circonférences concentriques qui compoſent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaiſſeur de la cloche, feroient autant de lignes pleines & ſans interruption, comme les repréſente la *Fig*. 5. Mais comme les parties qui les compoſent, laiſſent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux ſont repréſentés par la *Fig*. 6 d'une maniere plus conforme à la nature.

Maintenant qu'on ſe rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi : » Qu'une » boule élaſtique qui tombe ſur un » marbre, perd ſa figure ſphérique, » & ne la reprend qu'après avoir été » quelque temps un ellipſoïde, dont » le grand diametre eſt de deux fois » une, horizontal & vertical. « Il ſuit de-là que quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche, qui eſt un anneau élaſtique *a*, *b*, *c*, *d*, *Fig*. 7, il devient alternativement ovale ſur deux ſens ; & c'eſt en cela même que

* Tome I. P. 311.

XI. LEÇON.

consistent ses vibrations. Ainsi la même partie de la cloche *a*, par exemple, se portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, successivement avec une grande vîtesse, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémissement qui a été le principal effet de la premiere expérience.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions : premiérement, il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'ils ne le sont, lorsqu'ils composent un cercle : secondement, il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment des couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le sont dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut aussi se souvenir de ce que nous en avons dit * en parlant des loix du ressort : » que ses vibrations qui nous la » font voir sous la figure d'un paral» lélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-promptes, & que les

* Tome I. page 309.

impreſſions qui nous la repréſentent, faiſant un angle en-haut, ſubſiſtent encore au fond de l'œil, lorſqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faiſant un angle en-bas ;) » que ces » vibrations, dis-je, ſe font en con» ſéquence de la réaction de toutes » les petites fibres dont elle eſt com» poſée. « Car lorſque cette corde devient angulaire, elle eſt plus longue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ſes moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour ſe prêter à cet allongement, & qu'elles ſe rapprochent, pour ſe réduire dans la premiere longueur.

Ainſi dans la corde, comme dans la cloche, lorſqu'on excite le ſon, je conçois deux ſortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles ſont du corps ſonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles ſont, & qui nous font voir une corde de violle ou de claveſſin ſous la figure d'un parallélogramme ; les autres que je nommerai *particulieres*, qui appar-

tiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les éléments des premieres.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est désabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prouve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particulieres des parties insensibles: » Que l'on tien-
» ne, dit-il, * une pincette suspen-
» due sur le doigt, & qu'avec l'autre
» main on presse les deux branches
» pour les laisser échapper ensuite, el-
» les se mettent en vibrations, mais
» elles demeurent muettes: au lieu
» de les mettre en jeu de cette ma-
» niere, qu'on frappe dessus avec un
» doigt, ou avec quelqu'autre corps
» solide, elles feront encore des vi-
» brations comme dans la premiere
» épreuve; mais pour cette fois elles
» auront un son très-intelligible: qu'y
» a-t-il de plus ici, sinon un tremble-
» ment dans les parties du fer, & que
» l'on

* *Voyez les Mémoires de l'Ac. pour l'année 1716, p. 264.*

» l'on ſent quand on y porte douce-
» ment la main ? «

XI. LEÇON.

C'eſt donc à des parties qui frémiſſent que le ſon doit être attribué ; & après cette expérience on doit être perſuadé que toutes les fois qu'il ſera poſſible de ſéparer ces deux eſpeces de vibrations, on n'aura jamais aucun ſon avec celles que nous appellons totales ; mais quand celles-ci naiſſent des autres, (& c'eſt le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne faſſent point le ſon par elles-mêmes, elles en reglent cependant la force, la durée & les modifications.

APPLICATIONS.

L'explication des deux expériences précédentes peut ſervir à rendre raiſon de pluſieurs faits qui ont rapport à cette matiere, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal compoſé d'étain & de cuivre rouge ? C'eſt que tout métal compoſé eſt plus dur, plus roide, & par conſéquent plus élaſtique que les métaux ſimples qui entrent dans le mêlange : & comme les corps ſonores le ſont d'autant plus

XI. LEÇON.

que leurs parties ont plus de reſſort, on allie la matiere des cloches & des timbres pour en tirer plus de ſon. La plupart des ſonnettes cependant ne ſont que de cuivre ; mais c'eſt un mauvais cuivre, un métal devenu aigre, que les ouvriers appellent *Potain*: comme cette matiere eſt fort roide & caſſante, elle eſt plus ſonore que ne ſeroit un cuivre neuf & plus doux, qu'on nomme *Roſette*. Quand on fait des ſonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un aſſez mauvais ſon, ſi le métal eſt ſans alliage, ou ſi l'on n'y ſupplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de reſſort.

On fait ſubitement ceſſer le ſon d'une cloche, en la touchant avec la main, ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'eſt pour cela que les timbres des horloges, lorſqu'ils ſont couverts de neige, ne ſonnent que ſourdement, ainſi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raiſon une cloche fendue ne peut continuer ſes vibrations, parce que les bords de la

ſente ſe heurtent réciproquement, & ſont, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le ſon ſeroit probablement moins interrompu, ſi au lieu d'avoir une ſimple fêlure, elle étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours ſoin que les marteaux des timbres ſoient relevés ſubitement après le coup par un reſſort, afin que le même corps qui a excité le ſon ne l'altere pas, en reſtant trop long-temps appliqué au corps ſonore.

Puiſque le ſon n'eſt jamais qu'une ſuite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui ſoit abſolument continu; s'il nous paroît tel, c'eſt que le ſilence d'une vibration à l'autre eſt trop court pour être apperçu. Rien n'eſt plus propre à faire ſentir cette vérité qu'un inſtrument à anche, comme le haut-bois ou la muſette: une anche eſt compoſée de deux lames à reſſort & fort minces, de métal, de bois, ou de quelque autre matiere; elles ſont jointes par

XI. LEÇON.

un bout, & forment enſemble un petit tuyau; par l'autre bout elles ſont plattes, & s'approchent de fort près ſans ſe toucher. Lorſque le ſouffle de la bouche ou le vent d'un ſoufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une vîteſſe extrême, & rendent un ſon qui paroît auſſi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puiſque ce ſon vient des coups multipliés d'une lame ſur l'autre, il eſt inconteſtable qu'il y a un petit intervalle entre les battements, & que le ſon qu'elles rendent n'eſt point continu.

C'eſt une méchanique aſſez ſemblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plupart des inſectes; car c'eſt une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des ſauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par leſquels ils prennent leur nourriture: dans les uns c'eſt un certain battement des ailes; dans les autres, c'eſt le jeu d'une eſpece de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre; comme la cigale, & d'autres fois ſur le

dos, vers le corcelet, comme il eſt aiſé de l'obſerver à certaines ſauterelles qui ſe retirent dans les buiſſons, & qui n'ont point d'ailes.

Mais le ſon doit-il toujours ſon origine au choc ou aux battements de deux corps ſolides, comme celui d'une cloche qui eſt frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui eſt pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume ? Les fluides ne ſeroient-ils point ſonores par eux-mêmes ? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons ?

On ſait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecoue avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur ? Dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, &

dont les parties ſe mettent en vibrations pour avoir été choquées par un corps ſolide. Dans le ſon d'un ſifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre choſe qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre maſſe d'air contenue dans l'inſtrument : car je penſe que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (ſi ce n'eſt peut-être pour tranſmettre, avec plus ou moins d'éclat, le ſon qui eſt déjà formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des ſons qu'elle rend, c'eſt qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle eſt en jeu, & que ſes vibrations, ſi elle en avoit, ceſſeroient par ces attouchements. L'inſtrument ne ſert donc, pour ainſi dire, que de meſure & d'enveloppe au volume d'air ſur lequel on ſouffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui reſſemblent eſſentiellement à celui-ci, ſont autant d'exemples de ſons rendus par des fluides qui s'entre-choquent.

Il y a des gens, comme on ſait, qui caſſent un verre à boire par le ſon de leur voix, en préſentant l'ouver-

ture de la coupe devant leur bouche. Ce n'eſt pas, comme l'ont cru certaines perſonnes peu au fait de cette matiere, en prenant un ton aigre & diſſonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une diſſertation entiere ſur ce fait,) que l'air agité par la voix pénetre le verre, & le force de s'ouvrir. C'eſt au contraire en prenant l'uniſſon du verre, & ſeulement en forçant la voix; car alors on augmente la grandeur des vibrations totales, & par conſéquent celles des vibrations particulieres d'où elles réſultent : mais comme ces dernieres ne peuvent ſe faire ſans que les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorſqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va juſqu'à ſéparation ou ſolution de continuité, & alors le verre tombe en pieces; en un mot la voix forcée fait ſur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort ſur une chanterelle. C'eſt encore ici un exemple du ſon excité, ou du moins augmenté, dans un corps ſolide par le choc d'un fluide.

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humanæ vocis ſonum fracto.*

XI. LEÇON.

Du MILIEU qui tranſmèt les ſons.

Les vibrations d'un corps ſonore ſe paſſeroient dans un parfait ſilence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiere capable de recevoir & de tranſmettre cette eſpece de mouvement: car tel eſt l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point ſur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiere interpoſée ; & de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves ſuffiſantes. Mais quand bien même le corps ſonore agiroit ſur une matiere, la propagation du ſon n'auroit pas encore lieu, ſi cette matiere inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également néceſſaires & ſuffiſantes dans le milieu qui doit tranſmettre le ſon. Premiérement, il doit avoir une certaine denſité, afin que ſes parties agiſſent aſſez fortement & aſſez librement les unes ſur les autres. Secondement, il doit être élaſtique, parce que

le mouvement de vibration naît du ressort des parties. Les expériences qui vont suivre serviront de preuves à ces deux propositions.

III. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

On établit sur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8, un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorsqu'il est en jeu, fait mouvoir deux marteaux qui battent alternativement sur un timbre. Cet instrument est monté sur une base de plomb, qui est garnie par-dessus d'un coussinet rempli de coton ou de laine (*a*); on couvre le tout d'un récipient qui est garni par en-haut d'une boîte à cuirs: la tige de métal qui passe à travers, sert à détendre le petit levier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, aussitôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il est possible.

EFFETS.

Si l'air est suffisamment raréfié, &

(*a*) Cet instrument est représenté plus en grand, *Tome I. 3e Leçon*, *Pl. 2. Fig. 5.*

XI. LEÇON.

que la tige de la boîte à cuirs ne touche plus au levier de la détente, on voit battre les marteaux ſans entendre aucun ſon ; mais ſi l'inſtrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a ſervi à détendre le levier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPÉRIENCE.

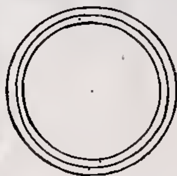
PRÉPARATION.

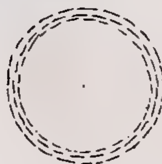
Il faut fixer une montre à réveil ſur une platine de plomb épaiſſe de 4 à 5 lignes, que l'on couvre enſuite d'un petit récipient dont on lute les bords ſur le plomb avec de la cire molle : on ſuſpend enſuite cet aſſemblage avec 4 fils qu'on réunit au-deſſus du récipient, pour le plonger dans un grand vaſe cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig. 9.*

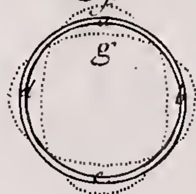
EFFETS.

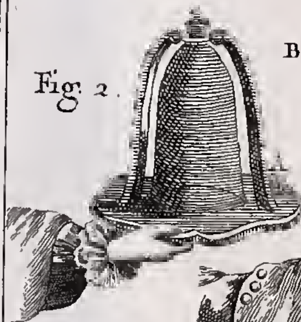
Lorſque le réveil vient à ſonner, on l'entend, quoiqu'il ſoit environné de pluſieurs pouces d'eau de toutes


Fig. 4.
7
6
5
4
3
2
1


Fig. 5.


Fig. 6.


Fig. 7.
f
g


Fig. 2.

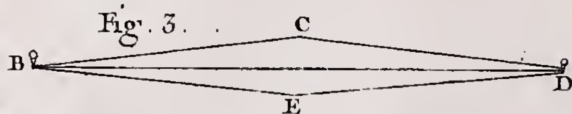
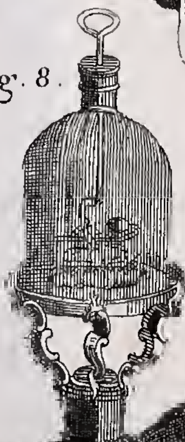
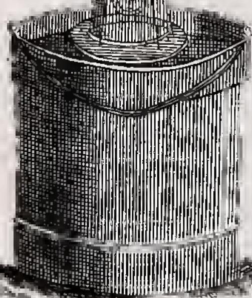

Fig. 3.
C
B
D
E


Fig. 1.


Fig. 8.


Fig. 9.



parts ; mais le ſon paroit fort affoibli.

EXPLICATIONS.

Un timbre qui fait ſes vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien ; par conſéquent, puiſqu'elles n'operent le ſon que quand elles ſe tranſmettent, elles doivent ſe paſſer dans le vuide avec un profond ſilence. A la vérité il n'y a point un vuide abſolu dans le récipient de notre expérience ; mais l'air qui y reſte eſt ſi raréfié, que ſes parties alors trop lâches n'ont point aſſez de réaction. Il manque à ce fluide la premiere des deux conditions que nous avons marquées ci-deſſus, c'eſt-à-dire, une denſité ſuffiſante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes ſur les autres.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air groſſier, il y a toujours dans ce vaiſſeau une matiere plus ſubtile, ne fût-ce que celle de la lumiere ou du feu ; mais apparemment que cette matiere, telle qu'elle ſoit, n'eſt point propre à la propagation du ſon, ſoit que ſon reſſort ne ſoit point analogue à celui des corps ſonores, ſoit que

XI. LEÇON.

ceux-ci n'aient point de prise sur elle, à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénetre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répétée dans les Colleges, a fait conclure à bien des gens, que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux ; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire : car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors? n'est-ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur?

D'ailleurs la quatrieme expérience ne nous laisse, ce me semble, sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le

plomb, se trouve plongé dans un vase plein d'eau? n'est-on pas forcé de reconnoître que le son se communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur?

Dira-t-on que cette communication ne se fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui se trouve naturellement dans tous les corps?

J'ai prévenu cette objection en me servant d'eau purgée d'air : & quand on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui est dans l'eau, j'aurois à répondre que j'en ai ôté une grande partie, & que si cet air contribuoit nécessairement à la propagation du son, je devrois au moins trouver une différence sensible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non-purgée d'air; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aie apportée.

Si quelque raison pouvoit faire douter que les parties de l'eau fussent capables par elles-mêmes de trans-

XI. LEÇON.

mettre les ſons, ce ſeroit l'opinion où l'on eſt communément, que les liqueurs ne ſont point compreſſibles; car ſi cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de reſſort; & tout corps qui n'eſt point élaſtique, n'eſt point ſuſceptible d'un mouvement de vibration.

Mais ſur quel fondement a-t-on cru juſqu'ici que les liqueurs étoient incompreſſibles? C'eſt parce que les Académiciens de Florence, & pluſieurs autres Phyſiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais pu reſtreindre leur volume par compreſſion. Mais cela ſuffit-il pour établir ſans reſtriction que les liqueurs ſont incompreſſibles? n'auroit-on pas conclu plus ſagement, que ſi elles ſe compriment par les efforts que nous ſommes en état d'employer contre elles, c'eſt d'une ſi petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais ſenſiblement?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompreſſibilité abſolue de l'eau; j'ai expoſé ailleurs * des raiſons qui combattent fortement cette opinion; & il me ſemble que notre derniere ex-

* Tome I. p. 122 & ſuiv.

périence acheve de la détruire : car si l'eau transmet le son, elle est élastique ; & si elle est élastique, il faut qu'elle soit compressible.

APPLICATIONS.

Puisque le son se transmet par les corps solides, comme le prouvent d'une maniere incontestable les précautions qu'il faut prendre pour faire réussir la premiere des deux expériences précédentes, on ne doit plus être aussi surpris d'un fait qui amuse les enfants, & qui intéresse l'attention des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épingle contre l'extrêmité d'une longue poutre, lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguité des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la piece de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la même poutre ; c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins inter-

XI. LEÇON.

rompues par leur poroſité, que ne l'eſt l'aſſemblage de ces mêmes fibres qui fait l'épaiſſeur de la piece.

Non-ſeulement le ſon excité dans l'eau ſe tranſmet à l'air de l'athmoſphere, mais auſſi celui qui naît dans l'air paſſe dans l'eau, & y fait ſentir toutes ces modifications. J'ai eu la curioſité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-diſtinctement toutes ſortes de ſons, juſqu'aux articulations de la voix humaine.

Il eſt vrai que tous ces ſons étoient fort affoiblis, ſans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni ſi amples ni d'une ſi longue durée : mais ce qu'il y a de remarquable, c'eſt que cet affoibliſſement ſe fait preſque tout entier au paſſage de l'air dans l'eau ; car à trois pieds de profondeur, j'entendois preſqu'auſſi bien qu'à trois pouces.

C'eſt une queſtion parmi les Naturaliſtes de ſavoir ſi les poiſſons ne ſont pas ſourds comme ils ſont muets ; & quoique les plus habiles * s'en

* *Pline.*

ſoient

ſoient mêlés, elle eſt encore indéciſe, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours ſur les premieres apparences, & ſur l'analogie la moins approfondie. » Tous les autres animaux entendent; pourquoi » les poiſſons n'entendroient-ils pas? » Les poiſſons fuient comme les oiſeaux quand on fait du bruit: les » uns comme les autres en ſont donc » effarouchés? « Mais le vulgaire ne ſait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poiſſons, ni rien qui en faſſe l'office; il ignore auſſi qu'on a coutume de regarder l'eau qui eſt leur élément naturel, comme incapable de reſſort, & que dans cette ſuppoſition, on ſeroit bien fondé à la croire imperméable au ſon. Si le poiſſon fuit quand on fait du bruit, il faut être bien aſſuré qu'il n'a pu appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir; & je ſais par moi-même que ce n'eſt point une choſe fort aiſée à décider, pour quelqu'un qui eſt en garde contre le préjugé (*a*).

XI. LEÇON.

Boyle, Arthedi, Rondelet, &c.

(*a*) Voyez dans les *Mémoires préſentés à l'Académie Royale des Sciences, par les Savants*

XI. LEÇON.

Quoi qu'il en ſoit, ſi le poiſſon n'entend point les ſons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puiſqu'elle les tranſmet; je ne regarde point non-plus comme une raiſon qui établiſſe abſolument ſa ſurdité, un défaut d'oreilles ſemblables à celles des autres animaux; cet organe, dans le poiſſon, pourroit être tout autrement conſtitué qu'il ne l'eſt dans les animaux qui reſpirent l'air; que ſait-on ſi ce ſens n'eſt point univerſel pour eux, comme le toucher l'eſt pour nous? ce qui me fait hazarder ce ſoupçon, c'eſt qu'ayant plongé avec moi des corps ſonores, le bruit ou le ſon que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-ſenſible, ce qui vient ſans doute de la grande ſolidité des parties de l'eau. (*a*)

Par quelque milieu que le ſon ſe

Etrangers, tom. 2. p. 164. un mémoire de M. Geofroy, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, qui eſt le commencement d'un excellent travail ſur cette matiere.

(*a*) Voyez les expériences que j'ai faites *ſur la tranſmiſſion des ſons dans l'eau*, Mémoire de l'Académie des Sciences, 1743, p. 119.

tranſmette, il emploie un temps qui eſt ſenſible, lors même que la diſtance eſt aſſez médiocre ; bien différent en cela de la lumiere, dont la propagation ſe fait dans un inſtant très-court à des diſtances fort grandes. Cette différence eſt un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire uſage pour meſurer la vîteſſe du ſon. Car ſi l'on fait titer un coup de canon ou une boîte à une diſtance connue, on peut prendre ſans erreur ſenſible, l'éclat de lumiere qu'on apperçoit comme le ſignal du ſon naiſſant ; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à ſecondes, le temps qui s'écoulera juſqu'à ce qu'on l'entende ; ainſi le temps ſera connu comme l'eſpace, ce qui donnera la vîteſſe.

Cette expérience faite & répétée depuis long-temps par l'Académie del Cimento, par MM. Flamſteed, Halley, Derham, &c. avoit fait conclure la vîteſſe du ſon, de 180 toiſes meſure de France par ſeconde ; mais il reſtoit encore quelque incertitude ſur les réſultats, ſoit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, ſoit parce qu'on avoit employé

XI. LEÇON.

des distances trop peu considérables. En 1738, l'Académie des Sciences *, pour terminer avec précision une question qui peut être d'une application utile, soit pour la Géographie, soit pour la sûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences nécessaires, & avec les précautions les plus convenables au sujet. Ces Académiciens firent leurs opérations sur une ligne de 14636 toises qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre; & voici quels en furent les principaux résultats.

* *Mém. de l'Académie des Sc. 1738. p. 128.*

1° Le son parcourt 173 toises mesure de Paris en une seconde de temps, de jour ou de nuit, par un temps serein ou par un temps pluvieux. Le mouvement de la lumiere n'a donc point de part à la propagation du son; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2° S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vîtesse qu'il auroit par un temps calme.

3° Mais si le vent souffle dans la même ligne que parcourt le son, il le retarde ou il l'accélere selon sa propre vîtesse ; c'est-à-dire, qu'avec un vent favorable le son parcourt 173 toises par seconde, plus la vîtesse du vent ; & tout au contraire, si le vent est directement opposé. Et voilà pourquoi, lorsque le vent change de direction & de vîtesse, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres temps. Ainsi connoissant la vîtesse du son accélérée par le vent, on pourra estimer la vîtesse propre du vent ; car ôtant de la vîtesse accélérée 173 toises par seconde pour celle du son, le reste sera celle du vent.

4° La vîtesse du son est uniforme ; c'est-à-dire, que dans des temps égaux & pris de suite, il parcourt toujours des espaces semblables.

5° L'intensité ou la force du son ne change rien à sa vîtesse : quoiqu'un son plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible, celui-ci parcourt comme l'autre 173 toises par seconde.

Toutes ces connoissances, & les épreuves par lesquelles on les a acqui-

XI. LEÇON.

ſes, fourniſſent des moyens prompts & commodes, pour meſurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne ſont point néceſſaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des rivieres à leur embouchure; car puiſqu'après avoir apperçu la lumiere d'une arme à feu, chaque ſeconde de temps répond à une diſtance de 173 toiſes, c'eſt une choſe fort aiſée de ſavoir combien il s'eſt écoulé de ſecondes juſqu'au moment où le bruit s'eſt fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand ſecours dans un temps couvert pour des vaiſſeaux qui craignent de ſe briſer contre les côtes; car ſi au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne ſe voit pas de fort loin, on faiſoit tirer de temps en temps quelques boîtes ou quelques coups de canon, cette lumiere, qui eſt beaucoup plus active & plus perçante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui ſuccéderoit, en marqueroit la diſtance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-deſſus, que les corps ſont d'autant plus ſonores qu'ils

ont plus de densité, & en même temps plus de ressort; il en est de même de tous les milieux qui transmettent le son.; & comme l'air est celui de tous qui nous est le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

XI. LEÇON.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A B, *Fig.* 10, est une planche fort épaisse sur laquelle sont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverse *E F*; cette derniere piece est assujettie par deux vis qui la font descendre autant qu'il est nécessaire, pour presser fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaisseau repose d'une part sur des cuirs mouillés, & il est fermé par en-haut avec une platine de métal, garnie aussi d'un cuir mouillé pardessous, de sorte que l'intérieur du récipient, lorsqu'il est serré dans son chassis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe est tout-à-fait semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus * en par-

* P. 231.

XI. LEÇON.

iant de la fontaine de compreſſion ; c'eſt-à-dire, qu'il y a au bout ; immédiatement avant le robinet, une petite ſoupape qui permet que l'air ſorte de la pompe, mais non pas qu'il y revienne du récipient lorſqu'on releve le piſton : ainſi le robinet étant ouvert, on peut condenſer l'air dans le récipient, autour d'une ſonnette qui eſt ſuſpendue de maniere qu'on peut la faire ſonner en balançant un peu le chaſſis.

Comme l'air fortement condenſé fait un grand effort, c'eſt une ſage précaution à prendre que de revêtir le vaiſſeau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne cauſent aucun dommage.

Pour condenſer l'air en proportions connues, il faut enfermer dans le récipient, un petit ſiphon renverſé, dont la branche la plus longue ſoit fermée, & qui contienne, à l'endroit de ſa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11 ; car à meſure que l'air deviendra plus denſe, en preſſant par la branche la plus courte qui eſt ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, & condenſera

condenſera l'air *a b* autant qu'il le ſera lui-même : ainſi quand cette petite colonne d'air ſera reſſerrée dans un eſpace d'un tiers, ou de moitié plus petit qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par la graduation de la petite planche,) on jugera que l'air du récipient eſt condenſé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condenſé dans le récipient, le ſon que rend la ſonnette eſt ſenſiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorſque l'air eſt dans ſon état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puiſque le ſon conſiſte eſſentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui compoſent le corps ſonore, il doit y avoir plus de ſon partout où il ſe trouve plus de parties ſonnantes, & un reſſort plus actif : or ces deux choſes ſe rencontrent lorſque l'air eſt plus condenſé : ſes parties ſont plus ſerrées ; il y en a un plus grand nombre dans un eſpace donné,

& le reſſort de chacune de ces parties eſt plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus ſonore que quand il eſt plus rare.

Haubée, auteur de cette expérience *, ne s'eſt point contenté d'apprendre en général que le ſon devient plus fort, lorſqu'on augmente la denſité & le reſſort de l'air ; il a porté ſes recherches juſques ſur les proportions de cet accroiſſement. Avant que de condenſer l'air, il a marqué la diſtance à laquelle on ceſſoit d'entendre la ſonnette enfermée dans le récipient : puis l'ayant condenſé une fois plus que dans ſon état ordinaire, il trouva que le ſon s'étendoit à une diſtance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la denſité de l'air, on entendoit la ſonnette de trois fois plus loin, &c.

* *Tranſ. Phil. n.* 321.

Que falloit-il conclure de ces effets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort ; & en voici la raiſon.

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne : ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphere ; & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 12.

XI. LEÇON.

Or c'eſt une choſe connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle dont le diametre eſt deux fois plus grand que celui d'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une maniere générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diametres, ainſi le cône *a b c*, a une baſe quatre fois plus étendue que *a d e*, qui eſt une fois plus court ; car *d e*, diametre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *b c*, diametre de l'autre ; & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille qu'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diametre égal à *d e*, lorſqu'elle eſt placée à la premiere diſtance, elle reçoit quatre fois plus de

rayons ſonores qu'elle n'en recev roit à la ſeconde diſtance.

Par la même raiſon, elle en recevroit 9 fois moins à la troiſieme, 16 fois moins à la quatrieme : & comme 16 eſt le quarré de 4, 9 le quarré de 3, 4 le quarré de 2, on peut dire généralement que *le ſon décroît comme le quarré de la diſtance qui augmente.*

Mais puiſqu'ayant doublé la denſité & le reſſort de l'air tout enſemble, on entend le ſon deux fois plus loin qu'auparavant; qu'avec un air 3 fois plus denſe, & 3 fois plus élaſtique, on l'entend à une diſtance 3 fois plus grande; en ſuivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intenſité du ſon ſoit, ou comme le quarré de la denſité, ou comme le quarré de l'élaſticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti * curieux de ſavoir laquelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'eſt enfin fixé à la troiſieme après des expériences autant ingénieuſes que délicates, & dont il faut voir le détail dans ſes ouvrages, ou dans les extraits qu'on en a faits.

* *De Bononienſi Scient. & Art. Inſtituto Commentarii* p. 176.

APPLICATIONS.

Il ſuit de ces principes fondés ſur l'expérience & ſur le raiſonnement, que les corps ſonores doivent ſe faire entendre plus fortement par un temps froid que lorſqu'il fait fort chaud, puiſqu'alors l'air eſt plus condenſé, & qu'il a plus de reſſort : mais cette augmentation de denſité n'eſt point aſſez conſidérable apparemment pour avoir un effet ſenſible à l'égard des ſons, ou bien comme ces changements ſe font par degrés & lentement, ce qui en réſulte pour l'augmentation ou pour l'affoibliſſement des ſons, ne ſe fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui ſe ſont appliqués comme lui à perfectionner cet inſtrument, ſemblent n'avoir eu en vue que la direction des rayons ſonores, & avoir rapporté à cette ſeule cauſe l'augmentation du ſon ; c'eſt pourquoi M. Haſe veut qu'il ſoit compoſé de deux parties, dont une ſoit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13, & qu'elles aient un

foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*, *d*, *e*, *f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallelement des points *h*, *i*, *k*, *l*, &c.

On ne peut nier assurément que cette forme, ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribue beaucoup à augmenter le son dans la direction *a g*, ou suivant l'axe de l'instrument, puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans tout l'hémisphere, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi, à côté & derriere l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté ? Comme la réflexion du son suit les mêmes loix que celle de la lumiere, supposons que le porte-voix de M. Hase soit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme

une bougie; que doit-il arriver? la lumiere ſera condenſée, & il ſera certainement plus clair en *m n*, qu'il n'y feroit ſans le ſecours de l'inſtrument; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, feront dans une grande obſcurité. Il y a donc, à l'égard du ſon, quelqu'autre choſe qu'un mouvement réfléchi en conſéquence de la figure du porte-voix?

Oui ſans doute, & l'on peut dire en général que le ſon augmente toutes les fois que le corps ſonore imprime ſon mouvement à un air qui eſt appuyé; la voix ſe fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en raſe campagne, & mieux encore dans une chambre cloſe que dans la rue: c'eſt que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes; & l'air, comme touta utre reſſort, ſe comprime d'autant plus, qu'il ſe déplace moins pendant que la puiſſance comprimante agit ſur lui.

Mais cette augmentation du ſon cauſée par l'immobilité de l'air eſt encore plus ſenſible, quand c'eſt un corps dur qui arrête & qui ſoutient

XI. LEÇON.

les parties de ce fluide. Un Orateur ſe fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'eſt pas meublé; car alors le ſon, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mous & ſans réaction, revient ſur lui-même, ou ſe porte d'un autre côté, ſuivant la maniere dont il eſt réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fuſil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des rivieres que dans le pays plat; & que dans les aqueducs & dans les autres ſouterreins voûtés, la voix la plus foible ſe porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'eſt encore par la raiſon d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort durs) qu'un homme enfermé dans l'eau ſous la cloche du plongeur, penſa s'évanouir par l'étonnement que lui cauſa le ſon d'un cornet ou petit cor qu'il eſſaya d'emboucher.* On doit expliquer par le même principe ce qui ſurprend les curieux dans ces édifices où la voix la plus baſſe ſe fait entendre d'un angle à l'autre, ſans que les aſſiſtants,

* *Sturm. Colleg. Curioſ. T. II. Tentam. I.*

qui ſont placés par-tout ailleurs, puiſſent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles ſont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne ſe déplace point, & dans laquelle le ſon devient & ſe conſerve plus fort; & la figure de la voûte occaſionne des réflexions telles qu'il les faut pour le tranſmettre.

Enfin quand la maſſe d'air qui reçoit le ſon, ſe trouve contenue par des parois qui étant dures, ſont encore minces & élaſtiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-ſeulement le ſon augmente en dedans, parce que l'air intérieur eſt ſolidement appuyé; mais ce même ſon augmenté ſe tranſmet auſſi à l'air extérieur, parce qu'il frappe un corps élaſtique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on ſupprime, que l'on creve, ou qu'on lâche ſeulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant ſur celle qui reſte, on n'en tirera pas autant de ſon qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'eſt que l'air contenu dans la caiſſe n'a plus d'appui par en bas, au

lieu que quand il eſt appuyé ſur une peau bien tendue, il reçoit plus de mouvement parce qu'il réſiſte davantage; & il le communique au-dehors, parce qu'il repoſe ſur un corps élaſtique.

Maintenant on voit bien pourquoi le ſon augmente non-ſeulement dans la direction du porte-voix, mais auſſi dans tous les environs; car cet inſtrument, comme on ſait, eſt fait de feuilles de métal fort minces, & par conſéquent très-propres à tranſmettre au-dehors le ſon qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la maſſe d'air que la voix frappe, eſt contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre inſtrument, même de ceux qui ſont à cordes: car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un claveſſin, ou une baſſe de viole, ſoit une caiſſe de bois mince & élaſtique? c'eſt que ſans cela le ſon des cordes ſe communiqueroit à un air vague & ſans appui, qui échapperoit, pour ainſi dire, à leur choc; au lieu qu'elles agiſſent ſur une maſſe qui eſt comme forcée de recevoir d'elles un plus grand

mouvement, & qui le tranſmet au-dehors par la réaction du bois.

Le ſon, comme tout autre mouvement, change de direction, lorſqu'il rencontre des obſtacles qui ne l'abſorbent point : & alors il ſuit la loi commune ; * l'angle de ſa réflexion devient égal à celui de ſon incidence.

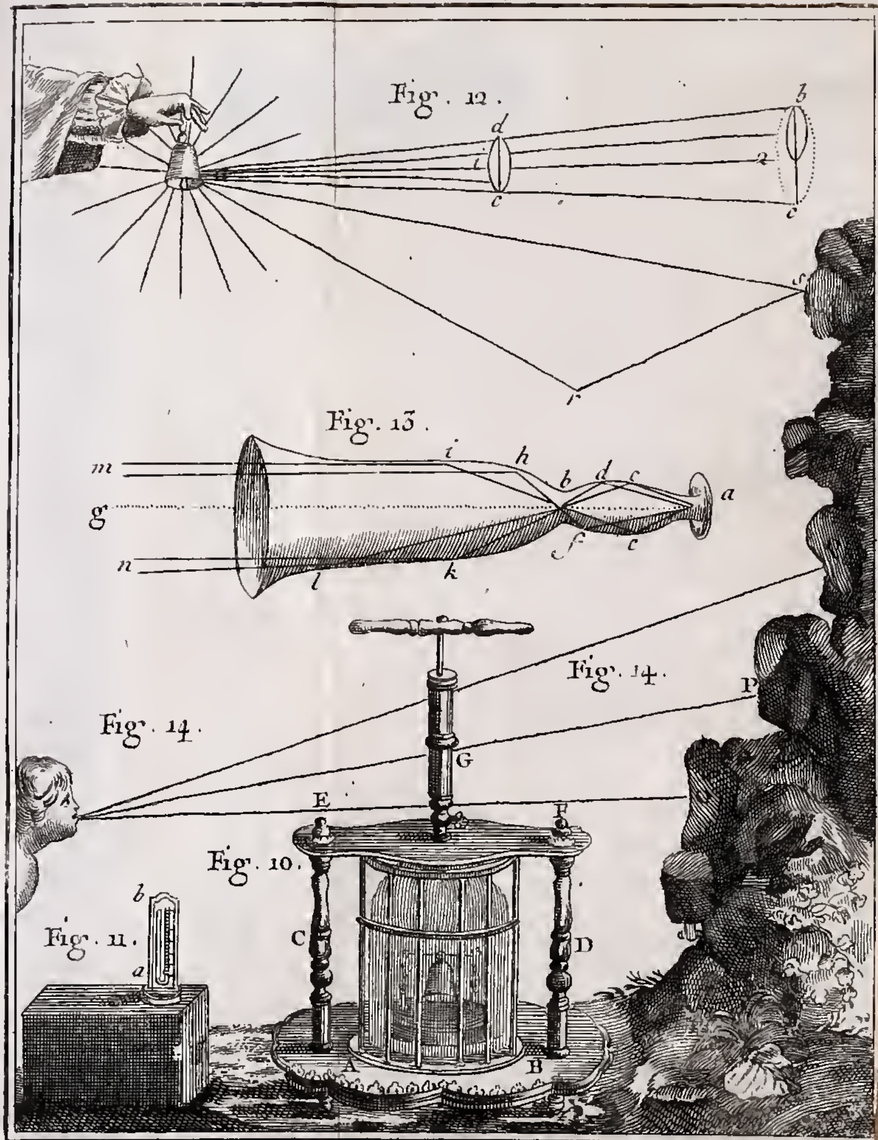
* Tome I. page 289.

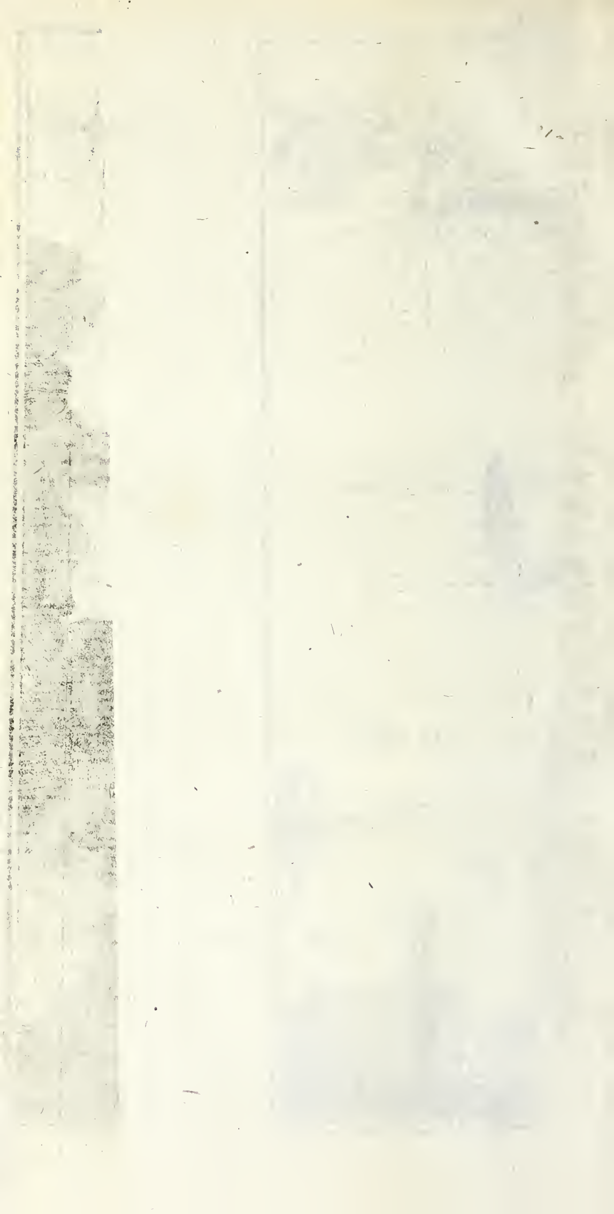
Le ſon réflechi que l'on nomme communément *Echo*, ne ſe diſtingue point du ſon direct, c'eſt-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps ſonore : quand la réflexion ſe fait de fort près, l'un & l'autre ſe confondent. Mais lorſqu'il y a une diſtance ſuffiſante, comme le ſon qui vient par réflexion, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répete la premiere impreſſion. Suppoſons, par exemple, qu'une perſonne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toiſes, *Fig.* 14, elle s'entendra parler dans le même inſtant ; mais le ſon qui ira frapper en *O*, & qui reviendra à elle par réflexion, emploiera deux ſecondes de temps à cauſe du double trajet de 173 toiſes. Et parce que le ſon qui va plus

loin, met plus de temps pour aller & pour revenir, s'il y a des obſtacles en *P* & en *Q*, qui réfléchiſſent les rayons ſonores vers le même endroit, on y entendra ſucceſſivement deux, trois ou quatre échos. C'eſt encore par cette raiſon, qu'étant placé en *r*, *Fig.* 12, on entend d'abord le ſon de la cloche *a* par le rayon *a r*, & enſuite l'écho de la même cloche par les rayons *as*, *sr*.

Les échos ne ſe trouvent point en raſe campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers, & dans les pays montagneux, parce que le ſon y rencontre bien fréquemment des obſtacles qui le réfléchiſſent; on en a obſervé qui répetent un grand nombre de fois, comme celui de Woſtock, qui répete diſtinctement 17 ſyllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit *: mais on a toujours obſervé en même temps que les dernieres répétitions ſont plus foibles que les premieres, ce qui eſt une conſéquence néceſſaire; car les ſons qui viennent les derniers ont fait plus de chemin que les autres, & le ſon eſt un mouvement qui diminue comme le quarré de la diſtance qui augmente,

* *Rob. Plot : Hiſtoire nat. de la Prov. d'Oxf. en Angl.*


Fig. 12.
d
i
c
b
2
c
s
r
Fig. 13.
i
h
m
b
d
c
a
g
f
e
n
l
k
Fig. 14.
P
Fig. 14.
G
E
F
Fig. 10.
C
D
A
B
Fig. 11.
b
a



à moins que l'obſtacle qui réfléchit les rayons ſonores, ne ſoit d'une figure propre à diminuer leur divergence.

XI. Leçon.

Les échos deviennent quelquefois des phénomenes fort ſinguliers, par la rareté des circonſtances qui les font naître : à 3 lieues de Verdun il y a deux groſſes tours éloignées l'une de l'autre de 36 toiſes, lorſqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix ſe répete 12 ou 13 fois toujours en s'affoibliſſant ; les deux tours ſe renvoient le ſon alternativement, comme deux miroirs qui ſe regardent, multiplient l'image d'une bougie placée entre eux : * on voit encore la deſcription d'un écho plus ſingulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. † On trouve aſſez facilement la cauſe de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention la nature & la poſition des lieux, ou la figure de tout ce qui eſt élevé ſur le terrein.

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc. 1710, p. 13.*

† *Tome X. page 187.*

De l'Ouie & de ſon Organe.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digreſſion ſur les

XI. LEÇON.

ſens, où j'ai traité ſeulement du toucher, du goût & de l'odorat ; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers ſens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agiſſent immédiatement ſur nous, ſoit par eux-mêmes, ſoit par leurs émanations. Mais à quoi en ſerions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de ſenſible pour nous que des actions immédiates ; ſi nous n'appercevions une bête féroce ou vénimeuſe que par ſa morſure, une pierre qui menace notre vie que quand elle commence à nous écraſer ? Quel tableau ſeroit-ce que celui du monde, ſi tous les hommes reſſembloient à ces créatures imparfaites, qu'une ſurdité ou un aveuglement de naiſſance met hors d'état de participer à la plupart des idées communes (*a*), & qui ſeroient plus malheureuſes encore, ſi plus favorablement traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur ſort. Par le ſecours de l'ouie & de la vue

(*a*) Voyez l'hiſtoire d'un ſourd & muet de naiſſance qui commença à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hiſt. de l'Académie des Sciences*, 1703. *p.* 18.

nous ſortons, pour ainſi dire, de nous-mêmes, nous allons au-devant des objets, nous les jugeons de loin; & ſur le rapport de ces deux ſens, le déſir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions néceſſaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous eſt plus néceſſaire, ou de la vue, ou de l'ouie. C'eſt ordinairement en ſuppoſant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on eſſaie d'en juger; mais bien ſouvent cette comparaiſon manque de juſteſſe & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonſtances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un ſourd de naiſſance, à celui qui a vu ou entendu juſqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux ſens; je n'ai point aſſez médité ſur les regrets d'un homme qui ſait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vu, pour les comparer à ceux d'un autre homme qui ſait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle eſt leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à préſent que

XI. LEÇON.

je ſais combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouie & la vue ; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon ; il n'y prend aucune part : mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe ? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe ; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute d'une étoffe, qu'il le faut comparer ; mais à un aveugle à qui il importe de ſavoir ſi cette étoffe eſt belle ou laide : je veux dire que les regrets de l'un & de l'autre

l'autre ſont égaux, quand l'intérêt eſt égal de part & d'autre; mais je penſe que l'aveugle a plus d'occaſions de regretter, parce qu'on ne ſupplée point à la vue ni auſſi facilement, ni auſſi parfaitement qu'à l'ouie. On a vu des gens qui étant devenus ſourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre, au ſeul mouvement des levres, tout ce qu'on leur diſoit, & même de converſer avec d'autres ſourds.*

Au reſte pourquoi chercher quel eſt le plus avantageux de deux biens qui le ſont peut-être également? il ſemble que la nature l'ait décidé ainſi, puiſque ne faiſant jamais rien de ſuperflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles, comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouie a pour objet le bruit & le ſon, dont nous avons parlé précédemment; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'eſt que le premier eſt un trémouſſement irrégulier, ou peut-être un aſſemblage de pluſieurs ſons qui font enſemble ſur l'organe une impreſſion confuſe, au lieu que le ſon proprement dit conſiſte

* *Mém. de Trév. ſeptemb. 1701, p. 9. Tranſ. Philoſ. numéro 312.*

XI. LEÇON.

dans des vibrations régulieres, homogenes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même temps.

L'oreille est l'organe de l'ouie ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoie aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matiere ; & nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les principales parties que la nature emploie pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon

* *Traité des Sens p. 275. Traité de l'Oreille, de M. du Verney.*

deſſein ſe borne à faire comprendre ſeulement par quelle méchanique nous entendons les ſons.

A B, *Fig.* 16, repréſente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui eſt vers *C*, s'appelle *la Conque*. *C D* eſt le *conduit auditif* vu extérieurement; c'eſt un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Tympan E*; cette membrane mince qui ſe préſente obliquement, n'eſt pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif; immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, ſont quatre oſſelets qu'on appelle, à cauſe de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3, & *le Marteau*: une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du tympan, & ſert à le tendre plus ou moins; la premiere cavité qui eſt ſous cette membrane, ſe nomme *la Caiſſe du tambour*; elle eſt pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *F f* qui ſe nomme *la Trompe d'Euſtache*; de ſorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit au-

XI. LEÇON.

ditif ; à la caiſſe du tambour répond une autre partie de l'oreille, qu'on nomme *Labyrinthe*, compoſé du *veſtibule G*, des trois canaux ſémicirculaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon L*, que je vais décrire ſéparément.

Le limaçon eſt un cône un peu écraſé, *Fig.* 17, enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux ſpires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étréciſſant, eſt diviſé dans toute ſa longueur par une cloiſon membraneuſe, dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui ſert de noyau, *Fig.* 19. C'eſt cette partie qu'on nomme *Lame ſpirale*, & qui va toujours en s'étréciſſant comme le conduit qu'elle partage depuis la baſe du cône juſqu'à la pointe. Ainſi les fibres qui compoſent ſa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du ſommet du cône.

Le conduit ſpiral, partagé en deux par la cloiſon dont je viens de parler, a néceſſairement deux orifices *M*, *N*, dont un aboutit au veſtibule du labyrinthe, & l'autre à la caiſſe du tambour.

Enfin le nerf auditif *O* ſe diviſe en plusieurs branches qui paſſent dans le veſtibule, & ſe ſubdiviſent en une infinité de petites fibres qui ſe diſtribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à peu près quelle eſt la ſtructure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions.

La conque, parce qu'elle eſt évaſée preſqu'en forme d'entonnoir, reçoit les rayons ſonores en plus grande quantité, & leur action ſe tranſmet par le conduit auditif juſqu'à la membrane du tambour où ſe fait la premiere impreſſion. Si cette membrane eſt lâche, les ſons foibles s'y amortiſſent, & ne paſſent pas outre, ou bien, s'ils paſſent, leur impreſſion eſt ſi peu ſenſible, que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi, lorſque nous ſommes occupés d'ailleurs, il peut ſe faire auprès de nous des petits bruits ou des ſons médiocres qui nous échappent. Mais ſi le tympan eſt bien tendu, (& c'eſt ce qui arrive quand on écoute,) le moindre ſon ſe communique par cette membrane élaſtique à la maſſe d'air qui eſt dans la caiſſe du tambour ; &

XI. LEÇON. de cet air il passe à celui qui est dans le labyrinthe, dont toutes les parties sont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps, & même pour toujours, les personnes qui s'y sont exposées : c'est qu'une impression trop forte sur cet organe, comme sur les autres, engourdit les parties qui sont délicates, ou en dérange l'économie. Après un grand bruit, les sons foibles sont à l'oreille, ce qu'est à l'œil une petite lumiere après une grande illumination.

Tout le monde sait, & les enfants mêmes n'ignorent pas, qu'on entend le son bien plus fortement, quand on tient les corps sonores dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte dessus ; c'est qu'alors les vibrations se communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Eustache ; & cette action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le tympan : c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent met-

tre en uſage par les gens qui ont l'ouie un peu dure ; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention. (*a*)

XI. LEÇON.

Il ſuit de cette obſervation, que la membrane du tambour, ou le tympan, n'eſt point une partie eſſentiellement néceſſaire pour la perception des ſons, puiſqu'ils pourroient ſe tranſmettre immédiatement à l'air qui eſt dans la caiſſe ; & l'expérience a prouvé que cette conſéquence eſt juſte ; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point ſourds, auſſi-tôt après cette opération * ; mais l'expérience même a fait voir que ſans cette eſpece de barriere, les autres parties ne peuvent ſe conſerver long-temps, puiſque ces animaux, quelques ſemaines après, n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

* *Villis, de l'ame des Bêtes, c.* 14.

(*a*) Ce que j'ai dit dans cet article, je l'ai dit d'après le plus grand nombre des Phyſiciens qui ont écrit ſur cette matiere ; néanmoins il me paroît maintenant que, pour entendre par la bouche, il ne ſuffit pas de l'ouvrir ſur le corps ſonore, mais qu'il faut appuyer les dents deſſus, ou au moins les levres.

XI. LEÇON.

On eſt parfaitement d'accord ſur l'exiſtence du tympan, ſur la place qu'il occupe, & même ſur ſes fonctions ; mais on ne l'eſt pas de même quand il s'agit de ſavoir ſi cette eſpece de diaphragme ferme abſolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir ſans ſortir de ſon état naturel ; les uns* tiennent pour cette derniere opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font ſortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenue dans leur bouche ; les autres ſoutiennent le contraire, & s'appuient ſur l'expérience d'un habile Anatomiſte*, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un ſujet mort, ne put jamais faire paſſer ce minéral de la caiſſe du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien ? ou bien la mort donne-t-elle au tympan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le ſujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure auſſi peu concluante ? Tout l'embarras de cette déciſion ceſſe, quand on ſait que

* *Dionis, demonſtr. anat.* t. 8.

* *Valſave, de aure humana*, c. 2. §. 8.

que la fumée ne passe point, comme on le dit, par l'oreille; & ce prétendu fait n'est au fond qu'une supercherie, par laquelle certaines gens en imposent à ceux qui sont assez crédules pour se rendre aux premieres apparences, ou trop peu instruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomistes * dont les lumieres & la candeur sont très-connues, & qui m'a dit s'en être assuré par l'aveu même de plusieurs soldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

* *M. Morand de l'Ac. des Sc. & chargé par la Compagnie de vérifier le fait.*

Comme la propagation des sons se fait selon les mêmes loix que celles de la lumiere, on peut rassembler les rayons sonores, & les condenser comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on fasse donc un cornet de figure parabolique, *Fig.* 20, au fond duquel aboutisse un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille; alors tous les rayons paralleles, comme *a b*, *c d*, seront rassemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront considérablement la force du son dans le conduit auditif.

Mais comme ces instruments acous-

XI. LEÇON.

tiques ne doivent avoir d'autre effet que de renvoyer le ſòn à l'oreille de celui qui s'en ſert, il faut empêcher qu'ils ne le tranſmettent autour d'eux comme le porte-voix ; c'eſt pourquoi je voudrois qu'on les fît de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur ſurface, la réflexion des rayons fût plus complete, mais qu'on amortît leur reſſort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque choſe d'équivalent.

* *Traité des ſens, p. 292.*

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouie pluſieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les perſonnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui eſt repréſenté par la *Fig.* 21, & dont l'ouverture *C D* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou 3 pouces de diametre. Dans l'opinion où je ſuis que l'augmentation du ſon, par ces ſortes d'inſtruments, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflexion bien ménagée des rayons ſonores, je penſerois volontiers qu'on pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

Des ſons comparés.

CE que j'ai dit précédemment touchant la nature du ſon en général, doit faire comprendre que les corps ſonores ſont capables d'exciter en nous différentes ſenſations; non-ſeulement parce qu'étant plus denſes ou plus élaſtiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puiſſamment ou plus long-temps, mais encore parce que leur reſſort étant plus ou moins tendu, doit être ſuſceptible de vibrations plus ou moins fréquentes: & en effet, tout le monde s'apperçoit que le ſon d'une cloche & celui d'une ſonnette, different beaucoup entr'eux: & pour le peu qu'on y faſſe attention, on reconnoît aiſément qu'il y a dans cette différence quelque choſe de plus que le degré de force; car quand on ſeroit fort près de la ſonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe ſeroit encore affecté d'une maniere bien différente par ces deux ſons. Il en eſt de même d'une corde, quand on prendroit ſoin de la pincer toujours également fort,

XI. LEÇON.

si elle est plus ou moins tendue, le son change, & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

Ce sont ces différentes nuances de son qui procedent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore, que l'on appelle *Tons*, & dont la combinaison harmonieuse fait l'objet de la musique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui, soit par goût, soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus* : on appelle grave celui d'un corps sonore, dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare, ou (ce qui est la même chose,) qui, dans un certain temps, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton, & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier au-

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps ſonores peuvent faire dans un temps donné. XI. LEÇON.

Mais quoique les tons puiſſent varier preſque à l'infini, eu égard à la comparaiſon des nombres, leurs différences ſe renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, ſi l'on s'en tient au ſenſible ; car l'oreille la plus délicate ne diſtingue ces nuances que quand il y a un intervalle aſſez conſidérable entre les nombres qui les produiſent. Par exemple, ſi l'on tend une corde de claveſſin, de maniere qu'elle faſſe 200 vibrations dans une ſeconde, elle aura un certain ton ; ſi elle ſe trouve enſuite un peu plus tendue, & que dans un pareil temps elle faſſe 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura ſûrement un ton plus aigu phyſiquement, mais non pas ſenſiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'eſt point aſſez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps ſonores enſemble, comme deux cordes de claveſſin ou de vielle,

XI. LEÇON.
leurs vibrations ont néceſſairement un certain rapport de nombres entr'elles, de ſorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-temps ; & c'eſt cette eſpece de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *conſonance*.

Les accords ſont d'autant plus parfaits que les vibrations rentrent ou ſe réuniſſent plus ſouvent, ou que leurs nombres, pour chaque temps, different moins entr'eux. On appelle *uniſſon*, l'accord de deux cordes dont les vibrations ſe font une pour une ; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-deſſus ; ſi elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte* ; quatre contre trois, *la quarte* ; cinq contre quatre, *la tierce majeure* ; ſix contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'abſolu ; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre choſe, ſi je changeois le ton de l'autre corde, qui me ſert d'objet de comparaiſon. Il en eſt de même du ſon

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpece de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtruments dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens ſûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les inſtruments de cette eſpece, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zele & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſim-

XI. LEÇON.

plicité qui annonce une invention de pratique. C'eſt dans ſes propres écrits, ou dans les extraits qu'on en a faits *, qu'il faut voir quelles ont été ſes recherches à ce ſujet, & juſqu'à quel point il a réuſſi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & ſavant Académicien, pour déterminer & fixer un ſon au-deſſous duquel on prît la ſuite des tons graves, & au-deſſus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations ſe fait ſentir par un ſon plus fort; & le temps qui ſe paſſe d'une réunion à l'autre eſt quelquefois aſſez ſenſible pour être meſuré. On ſait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux faſſe de vibrations dans le même temps que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une ſeulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit aſſez ſenſible, on pourroit donc ſavoir combien de temps

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1700. p. 134.

emploient, celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainsi le temps pendant lequel se font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même temps, étant connu d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le son fixe, celui qui fait 100 vibrations en une seconde; & il appelle *octave-fixe-aiguë*, celle qui est au-dessus, c'est-à-dire, le son qui fait 200 vibrations en une seconde; & *octave-fixe-grave*, celle qui est au-dessous, ou le son qui fait 50 vibrations en une seconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience, qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert, rendoit ce son fixe dont je viens de parler, compara cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le son le plus grave, & l'autre le son le plus aigu que l'oreille humaine pût distinguer; & ayant examiné, par la comparaison de leurs dimensions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le temps d'une seconde, il trouva que le son le plus grave que nous puissions distinguer vient d'un

XI. LEÇON.

corps ſonore qui fait 12 vibrations $\frac{1}{2}$ par ſeconde, & que le ſon le plus aigu fait en pareil temps 6400 vibrations ; & comme 12 $\frac{1}{2}$ eſt à 6400 à peu près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille eſt ſuſceptible de 512 degrés de ſenſations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes ſortes d'inſtruments ; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut ſe mettre à l'uniſſon avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton : quand le corps ſonore vient d'être touché, elles ſont d'abord plus étendues, & le ſon en eſt plus fort ; mais quoiqu'enſuite elles deviennent plus petites, & que le ſon s'affoibliſſe en conſéquence, le ton ſubſiſte le même juſqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, ſont toujours de la même durée : c'eſt la propriété des corps à reſſort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du ſon principal, de celui que toute oreille entend, dès que

le corps ſonore a été frappé ; car lorſqu'on y fait plus d'attention, & à meſure que le ſon principal s'affoiblit, on diſtingue aſſez ſouvent d'autres tons, dont nous eſſaierons de rendre raiſon ci-après.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conſéquent rend un ſon d'autant plus aigu qu'elle eſt plus courte, ou moins groſſe, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui ſoient de même matiere, il faut avoir égard à ces trois choſes, à leurs longueurs, à leurs groſſeurs, & à leurs degrés de tenſion.

1° Si deux cordes également longues & groſſes ne different que par le degré de tenſion, leurs vibrations, quant au nombre, ſont comme les racines quarrées des puiſſances ou des forces qui les tiennent tendues ;

C'eſt-à-dire, que ſi elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : comme la racine quarrée de 4 eſt 2, & que celle d'1 eſt 1 ; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, ſeroient dans le rapport de 2 à 1 : &,

XI. LEÇON.

ſuivant le même principe, les vibrations ſeroient dans le rapport de 3 à 2, ſi les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres : parce que la racine quarrée de 9 eſt 3, & que celle de 4 eſt 2.

2° Si les cordes également groſſes, également tendues, ne different qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en temps égaux, eſt en raiſon inverſe de leur longueur;

C'eſt-à-dire, que celle qui eſt une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui eſt comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3° Si les cordes ne different qu'en groſſeur, elles font des vibrations dont les nombres ſont en raiſon réciproque des diametres; (*a*)

C'eſt-à-dire, que ſi l'une des deux eſt une fois plus groſſe, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un temps donné. Si les diametres ſont entr'eux comme 3 & 2, la plus groſſe

(*a*) Ceci ne doit s'entendre que des effets ſenſibles, & non-pas ſelon la rigueur mathématique : voyez-en les raiſons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47 *& ſuiv.*

des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

VI. EXPÉRIENCE.

Préparation.

La *Fig.* 22 repréſente un inſtrument qu'on peut nommer *Sonometre*, parce qu'il ſert à meſurer & à comparer les ſons. C'eſt une caiſſe longue montée ſur un pied qui eſt compoſé de deux montans & d'une traverſe ; la table qui eſt de ſapin peut avoir trois pieds de longueur ſur 4 pouces de largeur ; & elle eſt percée de trois roſettes à peu près ſemblables à celle d'une guittare ou d'un tambourin. A l'une des deux extrêmités ſont deux leviers angulaires, qui reſſemblent à ceux dont on ſe ſert pour les ſonnettes dans les appartements, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces leviers ſont attachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer ; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles, *C*, *D*, qui ſont à l'autre bout de la caiſſe. Ces deux cordes paſſent ſur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles

XI. LEÇON.

touchent à peine, & ſur leſquels lorſqu'elles ſont tendues, on les arrête, par le moyen d'une vis qui pouſſe deſſus une petite piece de bois. Il y a encore un autre chevalet *G*, qui gliſſe dans une couliſſe d'un bout à l'autre de la caiſſe, dont le bord eſt diviſé en pouces & en lignes; de ſorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt ſur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, ſans changer ſenſiblement ſon degré de tenſion. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on ſait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, juſqu'à ce que les bras des leviers faſſent des angles droits, tant avec les cordes ſonores, qu'avec celles qui ſuſpendent les poids.

EFFETS.

1° Les deux cordes étant de même groſſeur, & tendues avec des poids ſemblables, donnent l'uniſſon lorſqu'elles ſont également longues; l'octave, quand l'une des deux eſt moitié plus courte que l'autre; la

quinte, quand elles sont l'une d'un tiers plus courte que l'autre. XI. LEÇON.

2° Les deux cordes étant de la même longueur & de la même grosseur, s'accordent à l'octave, quand l'une est tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, sont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3° Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, sont d'accord à l'octave, quand l'une est une fois plus grosse que l'autre; à la quinte, quand le diametre de l'une est à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On sait par-tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps sonore, dans un temps déterminé; & que les accords ne sont autre chose que les différents rapports de ces nombres entr'eux. Ainsi, puisque je sais que l'octave doit s'entendre, toutes les

XI. LEÇON.

fois qu'il y a deux vibrations contre une; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute ſûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends; ainſi quand les deux cordes de mon ſonometre ſont à l'uniſſon, quelle que puiſſe être alors la longueur, groſſeur, ou tenſion de chacune, il eſt certain que leurs vibrations ſont iſochrones; c'eſt-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même temps: & de même, quand elles ſont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire: c'eſt que les vibrations qu'elles font dans un temps donné ſont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vu, par les réſultats précédents, qu'en réglant la longueur, la groſſeur & le degré de tenſion des cordes, comme nous avions dit * qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en réſulte des accords qui dépendent eſſentiellement de ces proportions, & qui ne vont point ſans elles. Il eſt donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibrations

* p. 463. & 464.

tions ſont, comme nous l'avons dit, d'autant plus promptes que la corde ſonore eſt plus courte, plus menue ou plus tendue, & que leur fréquence ſuit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard ſe trouve parfaitement d'accord avec le raiſonnement. Car puiſque tous les corps à reſſort ont des vibrations d'autant plus promptes que leurs parties ſont plus roides, une corde qui eſt plus tendue, & dont les parties ſont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conſéquent un ſon plus aigu : & au contraire, celle qui l'eſt moins, & dont les parties ſont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un ſon plus grave. Or une corde eſt moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle ſoit tirée par un même degré de force, ſi elle eſt plus longue ou plus groſſe, parce qu'alors cette force qui la tend agit ſur un plus grand nombre de parties, qui partagent ſon effort ; & par conſéquent chacune d'elles, conſidérée comme un petit reſſort, ſe trouve moins tendue

qu'elle ne le ſeroit, ſi elle faiſoit partie d'une corde ou plus fine ou plus courte.

APPLICATIONS.

L'expérience précédente nous apprend pourquoi dans tous les inſtruments de muſique, la partie ſonore, c'eſt-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les ſons, eſt toujours diſpoſée de maniere qu'on en peut changer facilement ou les dimenſions, ou le degré de tenſion. Car c'eſt par ces deux moyens qu'ils ſont propres à exprimer la compoſition du Muſicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'uniſſon, figurent les airs, parce que les touches que l'on pouſſe les accourciſſent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce ſont les doigts qui font l'office de touches en ſerrant les cordes ſur les diviſions du manche. Au claveſſin, où chaque corde eſt fixée à un ſeul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes & de leurs différentes longueurs & groſſeurs.

Dans un inſtrument à vent, c'eſt

encore en changeant les dimenſions du corps ſonore, que l'on acquiert une ſuite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui eſt, à proprement parler, la partie ſonore de cet inſtrument, comme je l'ai déjà dit ci-deſſus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, ſelon le nombre des trous que l'on débouche, ou que l'on tient fermés : puiſque chacun de ces trous faiſant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute ſon étendue, ou d'une maniere complette, les vibrations qui viennent de l'embouchure.*

L'organe de la voix pourroit être comparé aux inſtruments à vent, pourvu néanmoins qu'on n'y cherchât point une ſimilitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'aſſez près la nature. La *trachée-artere* *G g*, *H h*, *Fig.* 23, ce canal par où l'air qu'on reſpire entre dans les poulmons, eſt terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on

* *Voyez l'explication de M. Euler. Tent. novum theor. muſicæ.*

nomme *la Glotte*. La reſſemblance qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement que la voix ſe formoit dans cette partie comme le ſon dans ces ſortes d'inſtruments. Mais M. Dodard conſidérant que le ſon d'une flûte eſt excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'eſt communément par celui qui ſort de la trachée, ſe détermina à croire, avec toute ſorte de vraiſemblance, que la glotte eſt l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

Selon le ſyſtême de cet habile Phyſicien*, l'air ſortant avec plus ou moins de vîteſſe par la glotte, qui a pour cet effet la falculté de ſe dilater & de ſe rétrécir, forme des ſons plus ou moins graves. Le ſon formé de cette maniere va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en ſortant il s'articule par le mouvement de la langue & des levres. Ainſi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en regle le ton, la langue & les levres en font des paroles.

* *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1700. *p.* 244.

Voilà, dit-on, comme les choſes

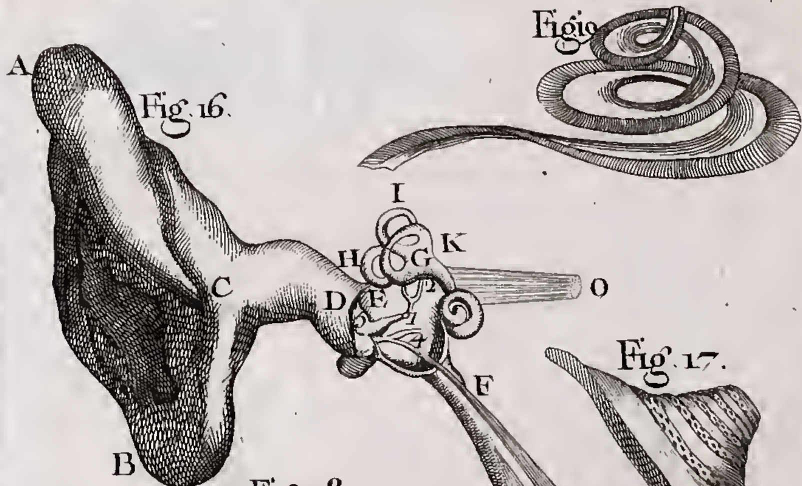

Fig. 19.
A
Fig. 16.
I
K
H
G
O
C
D
E
F
Fig. 17.
B
f


Fig. 18.
M
N


Fig. 23
G
H

ſe paſſent pour l'ordinaire : mais on peut cependant parler & chanter en aſpirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine diſpoſition d'organes, font entendre une voix ſourde & étouffée qui ſe forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques* ; c'eſt-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme poſſédés du démon ; il ſe trouve même de bons Auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a impoſé auſſi-bien qu'au peuple.

* *Liranus, in c. 18. Deut. Caſſerius, de vocis organo.*

Si l'on doit attribuer les différents tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que ſon petit diametre qui n'a au plus qu'une ligne, puiſſe changer 9632 fois de longueur, ſelon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine eſt ſuſceptible. Une telle diviſion peut-elle avoir lieu dans une ſi petite étendue? c'eſt ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de muſette, qui, comme l'on ſait, n'eſt chargée que

XI. LEÇON.

de produire le ſon, & non pas les tons ; & le canal de la bouche qui s'allonge, ſe rétrécit, & ſe dilate ſuivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un ſon plus ou moins grave ? ou bien ces deux parties concourroient-elles enſemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élaſtique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimenſion ?

M. Ferrein, Médecin, a répandu un grand jour ſur cette queſtion, en prouvant, par des expériences auſſi déciſives qu'elles ſont ingenieuſes & délicates, que les deux levres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniere d'une anche ; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, réſonne comme une corde ſur laquelle on traîne un archet. Ses obſervations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux levres ſont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartillages qui ſervent à les tendre

plus ou moins : il trouve dans ces différents degrés de tenſion dont ces parties ſont ſuſceptibles , une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine eſt capable ; car on ſait en général, qu'une corde plus ou moins tendue rend un ſon plus ou moins aigu.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu ſavoir que les deux levres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre ; que le ſeul rétréciſſement de cette partie ne ſuffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus ; & que l'air lancé des poulmons par la trachée-artere donne un mouvement de vibrations à ces cordons tendineux , qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales* ? Ne faudroit-il pas avoir vu l'action même de ces parties pour juger de la maniere dont elle ſe fait ? Et comment porter la vue ſur un méchaniſme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux ?

L'ingénieux Auteur de ces découvertes , ne pouvant point tenter ces expériences ſur des ſujets vivants , imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un ſoufflet à des trachées

XI. LEÇON.

toutes fraîches ; l'air qu'il fit passer avec précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Academ. des Sc. année* 1741, *p.* 409.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coutume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en acheve 4 pendant que l'autre n'en fait que deux ou trois, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun possede séparément. Mais comment

ment eſt-ce que deux tons différents ſubſiſtent en même-temps dans le même air, ſi les tons ne ſont dans l'air que ce qu'ils ſont dans le corps ſonore, une fréquence déterminée de vibrations ? Comment la même maſſe d'air peut-elle rendre diſtinctement & en même-temps les ſons de deux cordes qui ſont à l'octave l'une de l'autre, ſi celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par ſeconde ?

Ce n'eſt encore que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvements pourroient ſe communiquer & ſe conſerver ſans confuſion dans le même air, il reſte encore à ſavoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même-temps les deux impreſſions, n'éprouve point une ſenſation mixte ou compoſée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du verd, quand il eſt frappé en même-temps par deux rayons, dont l'un eſt jaune & l'autre eſt bleu.

On ne s'eſt jamais trop mis en peine de répondre à la derniere de ces deux queſtions : quant à la premiere, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui tranſmet

les ſons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorſqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-coupent ſans ſe confondre, & s'étendent ſéparément juſqu'au bord du baſſin, de la même maniere auſſi l'air ſe charge de différents tons enſemble, & les tranſmet ſans confuſion juſqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'eſt point expliquer un phénomene que de le comparer à un autre, cette comparaiſon même eſt défectueuſe, & l'on voit évanouir preſque toute ſimilitude, quand on fait attention à la nature des mouvements de part & d'autre.

Lorſqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abaiſſe la partie du fluide qui ſe trouve ſous elle, & en même-temps elle éleve les parties voiſines; chacune de ces parties ſoulevées retombe avec accélération plus bas que ſon niveau, & fait monter celle qui eſt immédiatement après, ce qui continue juſqu'à ce que tout ait repris ſon équilibre. Ces balancements ſe faiſant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, repréſen-

tent à l'œil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui ſe ralentiſſent à meſure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles ſont plus foibles, ſoit par la cauſe qui les a fait naître, ſoit par le trajet qu'elles ont déjà fait. Mais le mouvement du ſon dans l'air eſt toute autre choſe ; ce ſont les vibrations d'un fluide élaſtique qui ſe tranſmettent avec une vîteſſe uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entre-coupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne ſe compoſe des maſſes & des vîteſſes des parties qui ſe rencontrent, & qu'un corps placé à cette interſection ne dût recevoir le mouvement compoſé. Il n'en eſt pas de même de deux ſons qui agiſſent ſur le même organe ; chacun fait ſon impreſſion cemme s'il étoit ſeul, & l'oreille les diſtingue par deux ſenſations différentes, quoique ſimultanées. Ainſi la comparaiſon des ondes n'explique rien, & laiſſe ſubſiſter

en leur entier les deux difficultés que
XI. LEÇON. j'ai exposées.

M. de Mairan, après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons un systême si ample, mais en même-temps si heureusement imaginé, qu'on oublie bientôt que c'est une hypothese, quand on l'applique aux phénomenes ; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son Auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre ? Lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable ? Comme ces molécules sont des assemblages fortuits des parties plus subtiles qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne seroit-on pas porté à croire qu'elles different de grandeur à l'infini, plutôt que de supposer gratuitement qu'elles se

reſſemblent toutes parfaitement ?

Cette penſée ſur laquelle eſt fondé tout le ſyſtême de M. de Mairan, eſt la ſeule qui ne ſoit que vraiſemblable ; toutes les autres ſont des conſéquences ſi néceſſaires de ce principe, (ſi une fois on l'admet) qu'on ne peut point s'y refuſer.

Si les molécules de l'air ſont de différentes grandeurs, elles doivent différer auſſi par leurs degrés de reſſort, comme une même lame d'acier feroit des reſſorts plus roides les uns que les autres, ſi elle étoit diviſée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps ſonore, il doit donc trouver dans la maſſe commune, des particules d'air dont le reſſort eſt analogue au ſien, & capables par conſéquent de recevoir, de conſerver & de tranſmettre ſes vibrations. Ainſi deux cordes de différénts tons ſe font entendre par la même maſſe d'air, mais par différentes parties de cette maſſe. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne ſe confondent point dans le fluide qui les tranſmet ; car de cette maniere, ce fluide, eu égard à ſes différentes parties, peut

XI. LEÇON.

ſe prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

Quant à l'impreſſion des ſons ſur l'organe, il faut ſe ſouvenir que la lame ſpirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, eſt un aſſemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la baſe juſqu'à la pointe du limaçon, à peu près comme les cordes d'un pſaltérium ou d'un claveſſin ; chacune a une élaſticité proportionnelle à ſa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence ſeulement. Ainſi quand deux tons parviennent à l'organe en même-temps, chacun d'eux fait ſon impreſſion ſur la fibre dont le reſſort eſt analogue à la fréquence de ſes vibrations ; & ces deux ſenſations ſéparées font naître deux idées diſtinctes : en un mot, il arrive aux fibres de la lame ſpirale ce qu'on remarque aux cordes d'un claveſſin, ou à tout autre corps ſonore dont on prend le ton ; ſi l'on touche une corde, on fait raiſonner celle qui eſt à l'uniſſon, non-ſeulement ſur le même inſtrument, mais même ſur un autre qui

feroit placé à côté ; fi l'on parle à voix haute dans un magafin de verreries, dans une boutique de Chauderonnier, dans une office où il y a beaucoup de vaiffelle creufe, on entend toujours réfonner quelque piece, tandis que les autres reftent en filence; & fi l'on change de ton, c'eft une autre piece qui répond.

Mais, dira-t-on, comment fe peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choififfe précifément les molécules d'air qui lui conviennent, & que l'air intérieur de l'oreille, qui reçoit fon mouvement à travers la membrane du tambour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne font propres à fentir qu'un certain fon?

Cette corde ne choifit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame fpirale ; mais les effets font les mêmes que s'il y avoit du choix : car quoique plufieurs corps qui ont différents degrés de reffort, commencent leurs vibrations en même-temps ; fi la caufe qui les entretient eft fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont

XI. LEÇON. le reſſort eſt analogue à cette fréquence ; car ceux qui ſeroient de nature à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne ſe trouveroient point à temps comme les autres pour recevoir la ſeconde impulſion, & leur mouvement devroit ſe rallentir ou ceſſer. Le corps ſonore agit donc d'abord ſur toutes les molécules d'air qui l'entourent ; mais il ne continue efficacement ſon action que ſur celles qui ſont propres à ſe mouvoir préciſément comme lui. C'eſt la même choſe pour les fibres de la lame ſpirale : & comme nos ſenſations ne s'accompliſſent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiere ſecouſſe qui attaque toute la partie indiſtinctement, eſt déjà paſſée lorſque l'ame s'apperçoit de l'impreſſion qui continue, ſur les fibres qui ſont propres à cette eſpece de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant qu'une corde que l'on pince, ne mette & n'entretienne abſolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie préciſe avec ſon reſſort, elle agit auſſi ſur celles qui ſont *harmo-*

niques ; c'eſt-à-dire , dont les vibrations recommencent avec les ſiennes après un certain nombre, & elle agit plus fortement ſur celles qui ſont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc réſonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui ſont propres à faire autant de vibrations qu'elle , c'eſt ce qui fait le ton principal ; enſuite, & avec moins de force , celles qui ne font qu'une vibration contre deux ; après ces dernieres, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de ſorte qu'on peut dire qu'un ſeul & même corps ſonore fait toujours un petit concert : à la vérité, ces ſons harmoniques ſont couverts par le ſon principal ; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les diſtinguer.

On pourroit demander ici premiérement pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même ſon quoique nous ayons deux oreilles auſſi ſenſibles l'une que l'autre : ſecondement, par quelle raiſon, parmi tant de différents tons, il

y en a qui ſe font mieux entendre que d'autres à certaines gens qui ont l'ouie dure : troiſiémement, comment les bruits ou les ſons d'une certaine eſpece, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaiſir ou de la peine.

L'unité de ſenſation, quoique produite par deux impreſſions diſtinctes, vient ſans doute de ce que le ſon attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau ; & il eſt à préſumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le ſon qui frapperoit d'un côté la quatrieme fibre de la lame ſpirale, par exemple, & de l'autre la ſixieme de la membrane du même nom. Ce n'eſt point le ſeul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes ſemblables qui ne repréſentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agiſſent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il ſoit conſtant que l'image ſe peint également dans les deux yeux, & c'eſt par une raiſon aſſez ſemblable à celle que je viens d'expoſer, & que je détaillerai en parlant de la viſion.

L'efficacité de certains ſons préfé-

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroit être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiere. Si, par exemple, les deux extrêmités de cette partie étoient devenues moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus ; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coutume.

Enfin les mouvements que nous reſſentons au-dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpece, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe générale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques différemment tendues, plus groſſes & plus longues les unes que

les autres. Or parmi toutes ces eſpeces de trémouſſements que les corps ſonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts, il eſt preſqu'impoſſible qu'il n'y en ait quelqu'une dont les fibres nerveuſes de certaines parties ne ſoient ſuſceptibles. Lorſque l'impreſſion eſt douce & modérée, nous la reſſentons avec plaiſir; mais quand elle eſt trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'économie des parties, l'ame qui veille à la conſervation du corps qu'elle anime, la déſapprouve, s'inquiete; & c'eſt ce qu'on nomme *déplaiſir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les ſons, ſelon leur eſpece, excitent nos paſſions: certains airs inſpirent la molleſſe & l'amour de la volupté; d'autres la hardieſſe & le courage; ceux-ci la triſteſſe, ceux-là la gaieté, &c. mais s'il falloit déſigner les cauſes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle muſique affecte de telle maniere, l'entrepriſe, je crois, ſeroit téméraire; il faudroit connoître plus à fond ce que nous ſommes, & la liaiſon qu'il y a entre nos différentes facultés.

L'hiſtoire de la Tarentule, ſi elle eſt vraie, (*a*) eſt un exemple fort ſingulier des effets de la muſique ſur le corps humain : la piquûre de cet inſecte, qui eſt une groſſe eſpece d'araignée aſſez commune en Italie, envenime, dit-on, le ſang, & cauſe des accidents très-fâcheux, qui vont quelquefois juſqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on eſſaie en ſa préſence différents airs, & différents inſtruments, juſqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guériſon ; on s'en apperçoit à certains geſtes & à certains mouvements cadencés par leſquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danſe, peut-être auſſi improprement que les Anciens diſoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë, à cauſe de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces ſortes d'empoiſonnés. Quoi qu'il en ſoit, ces agitations & ces ſauts excitent ordinai-

(*a*) Depuis la premiere édition de ce volume, j'ai eu occaſion de voir M. Serrao, ſavant Médecin de Naples, qui m'a inſpiré beaucoup de défiance ſur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez ſon Ouvrage *della Tarantola*.

XI. LEÇON.

rement une tranſpiration ſalutaire ; qu'on a ſoin de réitérer de temps en temps par le même moyen, juſqu'à ce que les ſymptômes ceſſant, annoncent que tout le venin eſt diſſipé.

Ce n'eſt pas ſeulement dans cette maladie que la muſique peut avoir de bons effets ; on a vu des gens attaqués de fievres chaudes, être touchés d'un air de violon, ſe lever, ſauter, ſuer de fatigue, & être guéris. *

Enfin on attribue auſſi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont pluſieurs ſemblent avoir de la réalité ; mais eſt-ce le trémouſſement ſeul que ce météore excite dans l'air qui en eſt la cauſe ? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaiſons qui regnent très-communément dans les temps d'orage ? c'eſt ce qu'il n'eſt pas facile de décider.

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc. 1703, p. 22.*

Des Vents.

Le vent n'eſt autre choſe qu'un air agité, une portion de l'athmoſphere qui ſe meut comme un courant avec une certaine vîteſſe & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend différents noms selon les différents points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Est ou d'Ouest, celui qui souffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Est, de Sud-Ouest, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Est, entre le Sud & l'Ouest, &c. vent de Nord-Nord-Est, de Sud-Sud-Ouest, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Est, une fois plus du Sud que de l'Ouest, &c. Communément cette division des vents va jusqu'à trente-deux. *Voyez la Fig.* 24 : elle pourroit aller plus loin, s'il étoit possible d'observer toutes leurs variations.

On peut distinguer principalement trois sortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *constants*, parce qu'ils soufflent sans cesse dans une certaine partie de l'athmosphere ; tels sont ceux qu'on nomme *allisés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque distance aux environs : les autres, qui sont *périodiques*, qui commencent & finissent toujours dans certains temps de l'année,

XI. LEÇON.

ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont Sud-Eſt depuis octobre juſqu'en mai, & Nord-Oueſt depuis mai juſqu'en octobre, entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar; ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élevent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vîteſſe & pour leur durée.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connue, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. M. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe *, où il a fait entrer non-ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pu recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. Son ouvrage ſe trouve par-tout; j'y renvoie le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvements de l'athmoſphere : car on ſait en

* *Eſſais de Phyſ. tome* 2. *p.* 878. *Voyage de Dampier, t.* 2.

en général que les vents viennent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air, parce que toutes les fois que certaines portions de l'athmosphere deviennent plus chargées, plus denses, plus élevées ou plus pressées que les autres, étant alors plus pesantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de résistance, & pousser devant elles les autres parties qui sont plus foibles, à peu près comme l'eau d'un canal, soulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, se meut par ondes d'un bout à l'autre ; mais qui est-ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'athmosphere s'agiter ? Voilà ce qu'on ne sait que fort imparfaitement. *

Les Physiciens qui ont raisonné sur cette matiere, conviennent tous que les vents peuvent être occasionnés par plusieurs causes différentes: le froid & le chaud qui ne regnent que dans une portion de l'athmosphere y changent la densité de l'air, & par conséquent son volume, soit en plus, soit en moins; & alors les parties voisines sont poussées plus loin, ou bien elles se rapprochent davan-

* *Voyez les Oeuvres de Mariotte, p. 340.*

XI. LEÇON.

tage. Si la cauſe qui raréfie l'air eſt réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe ſur le vent qu'elle produit; ainſi c'eſt avec vraiſemblance qu'on attribue les vents qui regnent de l'Eſt à l'Oueſt, dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre: car cette portion de l'athmoſphere qui eſt renfermée entre les deux tropiques, préſentant ſucceſſivement toutes ſes parties au ſoleil, ſouffre par la chaleur de cet aſtre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air; & comme le mouvement apparent du ſoleil s'étend en ſix mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent ſouffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différents aſpects du ſoleil, comme on l'obſerve effectivement. Des exhalaiſons qui s'amaſſent & qui fermentent enſemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occaſionner des mouvements dans l'athmoſphere; c'eſt la penſée de M. Homberg & de quelques autres Savants: & ſi les vents peuvent naître

de cette cauſe, comme il eſt probable, on ne doit point être ſurpris qu'ils ſoufflent par ſecouſſes & par bouffées, puiſque les fermentations auxquelles on les attribue, ne peuvent être que des exploſions ſubites & intermittentes.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes ſouterreines, par le mêlange des matieres graſſes, ſulfureuſes & ſalines qui s'y trouvent ; auſſi pluſieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces ſortes d'éruptions vaporeuſes. Connor rapporte * qu'étant allé viſiter les mines de ſel de Cracovie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des ſinuoſités de la mine, il s'éleve quelquefois une ſi grande tempête, qu'elle renverſe ceux qui travaillent, & emporte leurs cabanes : Gilbert, Gaſſendi, Scheuchzer, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette eſpece, d'où il ſort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naiſſance ſous terre, ſe répandent & continuent quelque temps dans l'athmoſphere.

* *Diſſert. medico-phyſ. Article III. p.* 33.

XI. LEÇON.

On cite encore l'abaiſſement des nuages, les jonctions, & les groſſes pluies, comme autant de cauſes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée eſt ſouvent prête à fondre par un temps calme, lorſqu'il s'éleve tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée preſſe l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il eſt permis de hazarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui ſe dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines ſaiſons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorſqu'il eſt dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'athmoſphere qu'il n'en occupoit dans les matieres dont il faiſoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un temps humide & chaud, qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui ſont tombées des arbres, l'athmoſphere doit s'enfler au-deſſus des endroits où ces effets arrivent; elle doit re-

fluer ſur les parties voiſines ; celles-ci ſur d'autres, & peut-être aſſez ſenſiblement pour faire ce qu'on nomme du vent.

On pourroit pouſſer cette idée plus loin, en la prenant par le côté oppoſé ; s'il étoit vrai que la décompoſition des mixtes pût rendre aſſez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'athmoſphere, on pourroit penſer auſſi qu'au printemps, & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ſes productions, il doit s'abſorber beaucoup d'air, & qu'il peut ſe trouver telles circonſtances où l'équilibre de l'athmoſphere en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination qui n'eſt rien moins que fondée en preuves ſolides.

Pluſieurs Phyſiciens ont eſſayé de meſurer la vîteſſe du vent, en lui donnant à emporter de petites plumes & d'autres corps légers, & en examinant combien il leur faiſoit faire de chemin dans un temps déterminé. Mais quoique ces ſortes d'expériences paroiſſent très-ſimples & d'une

XI. LEÇON.

extrême facilité, ceux qui les ont faites sont si peu d'accord entr'eux sur les résultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vîtesse du vent le plus impétueux de 32 pieds par seconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil temps, c'est-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence? c'est que ces deux Savants n'avoient point de regle pour juger précisément quel est le vent le plus impétueux; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

Les girouettes ordinaires, comme on sait, enseignent la direction du vent : mais elles ne l'enseignent qu'à ceux qui peuvent porter la vue au haut des édifices où elles sont placées, & qui se sont orientés, c'est-à-dire, qui connoissent les points principaux de l'horizon du lieu. Pour rendre l'usage de cet instrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette sur sa tige, on l'y attache de maniere qu'elle la fasse tourner avec elle; & à l'autre bout de cette tige,

qui répond, si l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui mene une roue dentée, & cette roue une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam, Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.*

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vîtesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface; c'est pour cette raison qu'on déploie plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les ailes d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hiver que l'été à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiere de ces deux saisons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids

suſpendu ; car en expoſant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête enſuite, quand le poids qui tire ſur la fuſée, lui fait équilibre : or comme les rayons de cette fuſée ſont connus, ou faciles à connoître, on peut aiſément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différents temps.

Parmi toutes les machines propres à meſurer les vents, & que l'on nomme pour cette raiſon *Anémometres*, je n'ai rien vu de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-en-bray, qui eſt décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-ſeulement elle marque la vîteſſe & la direction du vent, mais elle en tient compte pour l'obſervateur abſent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet eſpace de temps la durée & la vîteſſe de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, ſait mettre les vents à profit : ce ſont eux qui tranſportent les nuages pour arroſer & fertiliſer les différentes par-

ties de la terre ; ce ſont eux qui les diſſipent pour faire ſuccéder le calme à l'orage ; c'eſt par ces mouvements & par ces agitations que l'air ſe renouvelle & ſe purifie, & que le chaud & le froid ſe tranſmettent d'un pays à l'autre. Il arrive auſſi quelquefois que l'on perd au change ; car ſi le vent vient d'un lieu mal-ſain, il en apporte les mauvaiſes qualités, & ſert de véhicule à la contagion ; mais ce ſont des cas particuliers & aſſez rares, qui ne l'emportent point ſur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On eſt ſurpris de voir naître certaines plantes au ſommet d'une tour, ſur le tronc d'un arbre, &c. où l'on n'a pas lieu de croire que perſonne ait pris la peine de les ſemer ; c'eſt l'ouvrage du vent qui éleve la terre en pouſſiere, & enſuite les ſemences, que l'eau du ciel fait germer. C'eſt par la même cauſe que le gramen & toutes les herbes des champs ſe multiplient & croiſſent dans une quantité d'endroits, où l'on voudroit ſouvent qu'elles ne vinſſent point.

L'art, imitant la nature, a trouvé

XI. LEÇON.

dans les vents de puiſſants moteurs, qui nous procurent de grandes commodités, & qui étendent prodigieuſement notre commerce : combien la navigation ne ſeroit-elle pas bornée, ſi les vaiſſeaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galeres ? Les voyages de long cours ſeroient impraticables par leur lenteur, & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulſion, un petit nombre de Matelots au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de ſoldats, ou un magaſin énorme de marchandiſes, d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels ſecours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des ſemences, fouler les draps, ſcier les planches, broyer les couleurs, ou autres matieres, &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre ou ailleurs, aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'operent à peu de frais, par le moyen de quatre ailes qui font l'office de le-

viers, & qui présentent leur plan d'une maniere oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement sur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer sans cesse ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faisant tourner l'arbre auquel ils sont fixés.

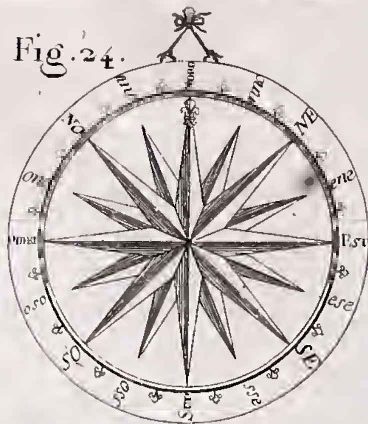
C'est par une méchanique assez semblable que les enfants trouvent le moyen d'enlever ces especes de chassis couverts de papier, qu'ils appellent *cerf-volants* ; car la corde avec laquelle ils les retiennent, est toujours attachée de façon que ce plan se présente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulsion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en sa main celui qui gouverne le cerf-volant. Mais comme il faut que l'axe *A B* soit toujours incliné au vent *C D*, d'une certaine quantité, au-dessous & au-delà de laquelle l'impulsion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a soin de faire filer la corde, & par ce moyen le cerf-volant se trouvant à l'extrêmité d'un arc semblable, mais d'un plus grand cer-

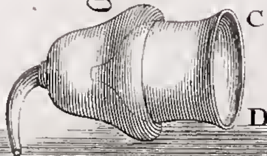
XI. LEÇON.

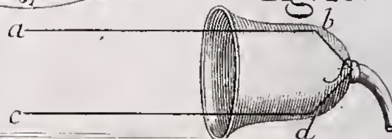
cle, ſon axe *a b* eſt toujours également incliné au vent *c d*; & le degré d'élévation eſt plus grand. *Voyez la Fig* 25.

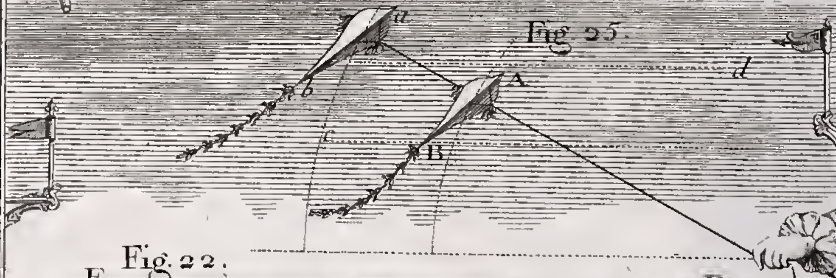
Le ſecours du vent eſt ſi commode, & ſes avantages ſont ſi bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne ſommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement : on agite l'air avec un éventail, ou autrement, pour ſe donner du frais; le Forgeron ſe ſert d'un ſoufflet pour animer ſon feu, & le Boulanger nettoie ſon bled en le faiſant paſſer devant une eſpece de roue garnie de quatre volants qu'il fait tourner pour jetter l'air deſſus, & emporter la pouſſiere : ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les ſoins de M. d'Hecbourg, ancien Officier d'Artillerie; je ſais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vu faire de cette machine, combien elle eſt utile à ceux qui ont beaucoup de grains à nettoyer & à conſerver.

Fin du troiſieme Volume.


Fig. 24.
NE
ene
Est
ese
SE
sse
S
sso
SO
oso
Oue
No


Fig. 21.
C
D


Fig. 20.
a
b
c
d


a
Fig. 25.
d
A
b
c
B

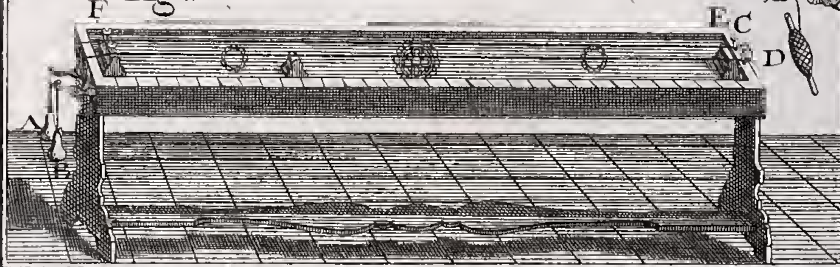

Fig. 22.
F
E
C
D
A
B

TABLE DES MATIERES

Contenues dans le troisieme Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

X. LEÇON.

XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

Fin de la Table des Matieres du Tome III.



